

ASUINRAKENNUSTEN LUONNONVARAKULUTUKSEN ARVIOINTI MIPS-MENETELMÄLLÄ

Pro gradu -tutkielma

Petro Tamminen

Helsingin yliopisto
Agroteknologian laitos
Helsinki 2009

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta		Agroteknologian laitos	
Tekijä — Författare — Author Petro Tamminen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Asuinrakennusten luonnonvarakulutuksen arvioiminen MIPS-menetelmällä			
Oppiaine — Läroämne — Subject Maatalouden ympäristöteknologia			
Työn laji — Arbetets art — Level Pro gradu	Aika — Datum — Month and year 27.5.2009	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 110	
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>Tässä tutkimuksessa laskettiin asuinrakennusten ekotehokkuutta MIPS-menetelmällä, joka mittaa ekotehokkuutta luonnonvarojen, materiaan kulutuksen kautta. Materiaalinkulutuksen lisäksi työssä laskettiin rakentamiseen ja ylläpitoon kulunut energia ja syntyneet hiilidioksidipäästöt. Ylläpidon osalta mukana oli vain rakennuksen kuoren läpi virtaava energia. Ylläpitoaika oli peruslaskelmissa viisikymmentä vuotta. Tarkasteltavana oli yhteensä 14 erilaista asuinrakennusta, niistä yhdeksän pien- ja viisi kerrostaloja.</p> <p>MIPS-menetelmä mittaa ekotehokkuutta materiaalinkäyttöön perustuen. Eri materiaaleille lasketaan niiden valmistusvaiheessa syntyneiden välillisten materiaaalivirtojen määrät Wuppertal-instituutin julkaisemilla piilovirtaker-toimilla. MIPS on karkea ja yksinkertaistava menetelmä, jonka avulla voidaan kuitenkin varsin tehokkaasti ha-vainnollistaa yhtä tärkeää ekotehokkuuden alaa.</p> <p>Rakennusten kuluttamista luonnonvaroista suuri osa käytetään perustustöissä, sillä niiden vaatimat maansiirrot ovat suuria. Esimerkiksi kevytrakenteisilla puutaloilla perustusten osuus rakentamisen luonnonvarojen kulutuk-sesta oli yli puolet. Myös rakennusten ylläpito kuluttaa luonnonvaroja epäsuorasti energiankulutuksen kautta. Vasta kymmenien vuosien ylläpito tuo luonnonvarakulutuksen likimain samalle tasolle kuin rakentaminen.</p> <p>Hiilidioksidi- ja energiataarkastelu antaa rakentamisesta toisenlaisen kuvan kuin materiaaalivirtataarkastelu: ylläpi-don osuus on paljon suurempi kuin rakentamisen. Rakentamisen taso saavutetaan noin kymmenen vuoden ylläpidolla.</p> <p>Rakennusmateriaaleista puu on kaikissa laskelmissa ympäristöä vähiten kuormittava. Rakennustyypeistä ker-rostalo-ot ovat kaikilla mittareilla pientaloja ekotehokkaampia. Tämän tutkimuksen rakennuksista puurakenteiset kerrostalo-ot olivat ekotehokkaimpia</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Ekotehokkuus, materiaalitehokkuus, MIPS, rakentaminen, asuminen			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Agroteknologian laitos, Maatalous-metsätaloustieteellinen tiedekunta			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

HELSINGIN YLIOPISTO — HELSINGFORS UNIVERSITET — UNIVERSITY OF HELSINKI

Tiedekunta/Osasto — Fakultet/Sektion — Faculty		Laitos — Institution — Department	
Faculty of Agriculture and Forestry		Department of Agrotechnology	
Tekijä — Författare — Author Petro Tamminen			
Työn nimi — Arbetets titel — Title Estimating the Eco efficiency of Residential Buildings with MIPS-method			
Oppiaine — Läroämne — Subject Environmental Engineering of Agriculture			
Työn laji — Arbetets art — Level M. Sc. Thesis	Aika — Datum — Month and year 27. May 2009	Sivumäärä — Sidoantal — Number of pages 110	
Tiivistelmä — Referat — Abstract <p>In this study eco-efficiency of residential buildings is estimated with MIPS-method. MIPS-method focuses on the natural resource (so. material) use. Apart from the material efficiency also required energy and carbon dioxide emissions during the construction period and maintenance were also counted in this study. Under the maintenance-period only the energy flowed through the building cover was taken into account. The maintenance period was 50 years. The study covered 14 different buildings from which nine were single family houses and five blocks of flats.</p> <p>MIPS-indicator is based on material flows. It uses them as criteria of eco-efficiency. The aim is to calculate the hidden material flows caused during the manufacturing of products. MIPS-values can be calculated with MI-factors published by Wuppertal-institute. MIPS is rough and simplifying method but on the other hand its advantage is a ability to illustrate one of the important areas of eco-efficiency.</p> <p>Most of the natural resources used by the residential building are related to foundations of buildings. For example more than half of natural resources use caused by wooden houses are related to foundations. Also the maintenance consumes natural resources across the energy use. With maintenance it takes decades to reach the level of construction period. When calculating the carbon dioxide emissions the maintenance is more significant. It takes only around ten years to reach the level of emissions caused by construction period.</p> <p>Wood as a construction material is the most eco-efficient choice. Block of flats is more eco-efficient than single family house with any indicator. According to this study, the wooden blocks of flats are the most eco-efficient choice.</p>			
Avainsanat — Nyckelord — Keywords Eco-efficiency, Material-efficiency, MIPS, Construction, housing			
Säilytyspaikka — Förvaringsställe — Where deposited Department of Agrotechnology, Faculty of Agriculture and Forestry			
Muita tietoja — Övriga uppgifter — Further information			

Esipuhe

Tämä työ on osa laajempaa kaksivaiheista tutkimushanketta FIN-MIPS Kotitalous - Kestävän kulutuksen juurruttaminen (2006-2008).

Muita FIN-MIPS -osatutkimuksia ovat:

- MatkailuMIPS, työ- ja elinkeinoministeriön julkaisuja 8/2008 (Salo ym 2008)
- LiikuntaMIPS, kuluttajatutkimuskeskuksen julkaisuja 4/2008 (Luoto ym 2008)
- HarrastusMIPS, kuluttajatutkimuskeskuksen julkaisuja 5/2008 (Veuro ym 2008)
- TavaraMIPS, kuluttajatutkimuskeskuksen julkaisuja 6/2008 (Moisio ym 2008)
- ElintarvikeMIPS, maa- ja elintarviketalous 130 (Kauppinen ym 2008).

FIN-MIPS-hankkeen osatutkimusten perusteella on hankkeen toisessa vaiheessa laskettu kotitalouksien luonnonvarakulutusta (Kotakorpi ym. 2008).

Tämän työn syntyä ovat edesauttaneet kommentteillaan ja neuvoillaan useat henkilöt. Kirjoittaja haluaa esittää kiitoksensa seuraaville tahoille:

Professori Jukka Ahokas Helsingin yliopistosta, Professori Laura Alakukku Helsingin yliopistosta, tutkija Erja Heino Suomen luonnonsuojeluliitosta, Arkkitehti Tapani Kivinen MTT, isännöitsijä Sami Kuivalainen VVO, yliopistonlehtori Hanna-Riitta Kymäläinen Helsingin yliopistosta, Michael Lettenmeier Suomen Luonnonsuojeluliitosta, kustannustoimittaja ja vaimo Eeva Lahdenmäki, Satu Lähteenoja Suomen Luonnonsuojeluliitosta, toimitusjohtaja Petri Manu, Kerttu Tamminen ja Kiuru Tamminen.

Sisällysluettelo

Esipuhe	4
Käsitteet, lyhenteet ja symbolit	6
1 Johdanto ja tutkimuksen tavoite	7
2 Rakentaminen, ympäristö ja MIPS	8
2.1 Keskeiset käsitteet: ekotehokkuus, materiaalitehokkuus, MIPS ja palvelusuorite.....	9
2.2 Katsaus aiempiin tutkimuksiin	11
2.3 Muita lähestymistapoja ja tutkimuksia rakentamisesta ja ympäristöstä	14
3 Asuinrakennukset ja asumisväljyys Suomessa	15
3.1 Trendejä	15
3.2 Kerrostalot.....	17
3.3 Pientalot	18
4 Materiaalit ja menetelmä	20
4.1 Laskentatyökalun laadinta ja käytetty aineisto.....	20
4.2 Tutkimuksen rajausta.....	21
4.2.1 Ylläpito	22
4.2.2 Palvelusuoritteena vuosiasuinneliö	23
4.3 Mallinnetut rakennukset.....	23
4.3.1 Mallinnetut pientalot	23
4.3.2 Mallinnetut kerrostalot	25
4.3.3 Perustusten mallintaminen.....	26
5 Tulokset.....	28
5.1 Rakennusosien luonnonvarojen kulutus	28
5.2 Mallinnettujen rakennusten luonnonvarojen kulutus.....	37
5.3 Rakennusten muuntelun vaikutus tuloksiin	49
5.3.1 Kerrosmäärän vaikutus	49
5.3.2 Perustamissyvyyden vaikutus.....	54
5.3.3 Kerroskorkeuden vaikutus.....	58
5.3.4 Ikkuna-alan vaikutus.....	64
5.3.5 Paalutuksen vaikutus.....	68
5.3.6 Ylläpitoajan vaikutus	70
5.3.7 Ikkunoiden eristävyysvaikutus	73
5.3.8 Yhteenveto herkkyydestä tarkasteluista: factor 2 -talo	76
6 Tulosten tarkastelua	79
6.1 Yleistä	79
6.2 Rajauksen vaikutus tuloksiin.....	80
6.3 Tulosten luotettavuus ja käyttö.....	81
7 Johtopäätökset.....	83
8 Lähteet	85
9 Liitteet	89
Liite 1: Kerrointaulukko	89
Liite 2: rakennusosien tiedot.....	92
Liite 3: Talojen rakenteet.....	107

Käsitteet, lyhenteet ja symbolit

Abioottinen	Mineraalinen, uusiutumaton
Bioottinen	Kasvikunnan tuote, uusiutuva
LCA	Life Cycle Assessment, elinkaariarviointi
MI	Material Input, materiaalipanos
MIPS	MI / S (Material Input Per Service unit) Materiaalipanos / palvelu suorite, yksi tapa mitata ekotehokkuutta
Palvelusuorite	Service unit, tuotteen tarjoama palvelu, hyöty
Piilovirta	Valmistusvaiheessa syntyneet materiaalivirrat, liittyvät esim. kuljetukseen ja louhintaan
TMR	Total Material Requirement, materiaalin kokonaiskäyttö
Vuosiasuinneliö	Laskennassa käytetty yksikkö: asuinneliö vuoden ajan

1 Johdanto ja tutkimuksen tavoite

Tämän tutkimuksen tavoitteena oli kartoittaa asuinrakennusten ekotehokkuutta MIPS-menetelmää käyttäen. MIPS (material input per service unit) on ekotehokkuuden indeksi, joka laskee materiaali-tehokkuutta ja materiaalien piilovirtoja. Tutkimuksessa laskettiin useiden rakennusosien ja niiden avulla erilaisten rakennusten luonnonvarojen kulutus MIPS-menetelmää käyttäen. MIPS-laskennan lisäksi mukaan laskelmiin otettiin myös hiilidioksidipäästöt ja energiankulutus. Erilaisia rakennuk-sia oli mukana neljätoista. Niistä yhdeksän oli pien- ja viisi kerrostaloja.

Raportti koostuu kahdeksasta varsinaisesta luvusta. Toisessa luvussa kerrotaan aiemmista asumisen ekotehokkuuteen liittyvistä tutkimuksista ja MIPS-menetelmästä. Kolmannessa luvussa luodaan katsaus rakentamiseen, rakennuksiin ja asumisen trendeihin nyt ja aiemmin. Neljänteen lukuun on koottu selostus käytetystä laskentatyökalusta, tutkimuksen rajauksesta ja laskennan etenemisestä. Laskelmien tulokset esitellään luvussa viisi. Niin ikään viidennessä luvussa tutkitaan miten erilais-ten rakennusten parametrien muuttaminen vaikuttaa tuloksiin. Kuudennessa luvussa tarkastellaan tuloksia ja johtopäätöksille on varattu seitsemäs luku. Liitteisiin on koottu tarkempia tietoja las-kennan kohteena olleista rakennuksista ja rakennusosista. Niin ikään liitteistä löytyvät käytetyt ma-teriaalien piilovirta- ja päästökertoimet.

2 Rakentaminen, ympäristö ja MIPS

Asuminen ja rakentaminen vaikuttavat paljon ympäristöön. Rakennusten lämmittäminen vie reilun viidenneksen (21 %) Suomen kokonaisenergiankäytöstä (Tilastokeskus 2005). EU:n alueella rakennukset kuluttavat jopa 40 % käytetystä kokonaisenergiasta (Savolainen ym. 2003). Talojen rakentaminen edellyttää usein suurehkoja maansiirtotöitä välittömästi rakennuksen läheisyydessä ja välillisesti erilaisten liikenne-, lämpö- ja vesiyhteyksien rakentamisen yhteydessä. Infrastruktuurin peittäminen maa, ei pidätä sadevettä vaan valuttaa sen edelleen nopeasti. Esimerkiksi Vantaanjoen tulvat Uudellamaalla 2005 osoittivat, että myös Suomessa olisi syytä kiinnittää huomiota tähän seikkaan.

Asumisen ja rakentamisen vaikutuksia ympäristöön on tutkittu paljon. Erilaisia elinkaarivaikutusmalleja ja -laskelmia on tehty lukuisia. Niiden päähuomio on kiinnittynyt usein energiankulutukseen ja hiilidioksidipäästöihin (esim. Junnila ja Saari 1997 ja 2008; Häkkinen 1999).

Talon elinkaaren ympäristövaikutukset voidaan jakaa kolmeen vaiheeseen: rakentamisen, ylläpidon ja purkamisen aikaiseen. Suorassa materiaalikäytössä merkittävin rooli on rakentamisvaiheella, jonka aikana kulutetaan valtaosa kaikesta materiaalista. Vastaavasti energiaa kuluu eniten ylläpidon aikana. Jo viidenkymmenen vuoden tarkastelujaksolla ylläpidon osuus koko energiankulutuksesta on noin 90 prosenttia (Saari 2000).

Rakentamisen osuus Suomen bruttokansantuotteesta on 5,4 prosenttia (Tilastokeskus 2005) ja rakennustoiminta tuottaa 9 prosenttia jätteiden kokonaiskertymästä (Kurtelius 2001). Energiaa ja materiaaleja voidaan säästää huomattavia määriä vaikuttamalla siihen, millaisia ja miten paljon uusia rakennuksia rakennetaan, ja siihen miten jo olemassa olevia ylläpidetään (Peltonen 2002).

2.1 Keskeiset käsitteet: ekotehokkuus, materiaalitehokkuus, MIPS ja palvelusuorite

MIPS (Material Input Per Service Unit) on Wuppertal-insituutissa 1990-luvun alussa kehitetty ekotehokkuuden indikaattori (Schmidt-Bleek 2000). Ekotehokkuus voidaan määritellä monella tavalla. OECD (1998) tarjoaa ytimekkään, joskin talouteen painottuvan määritelmän: "Ekotehokkuus on tuotteiden ja palvelujen arvo jaettuna ympäristöön kohdistuvien paineiden summalla". Ympäristöön kohdistuvia paineita voidaan mitata monella tavalla. Tällä hetkellä vallitsevin lienee hiilidioksidipäästöjen laskeminen. Muita tyypillisiä mitattavia paineita ovat esim. happamoitumista ja rehevöitymistä aiheuttavat päästöt. Kulloinkin etualalla olevat ympäristövaikutukset vaihtelevat. Vielä 80-luvulla yläilmakehän otsonia tuhoavat yhdisteet olivat suuren huomion kohteena, 2000-luvulla ilmastomuutos on noussut keskeisimmäksi ympäristöuhaksi.

Päästöjen lisäksi voidaan tarkastella myös materiaalivirtoja. Ihminen liikuttelee valtavia materiaalmääriä sekä suoraan että epäsuorasti. Teknosfäärin sisällä liikuteltu materia kuluttaa lähinnä energiaa, sen ulkopuolella biosfäärissä liikuteltu materia on rajallinen luonnonvara. Huomion ollessa yksittäisessä päästössä saattaa toisaalla tapahtua suuriakin muutoksia. Mitä vähemmän ympäristöön kajotaan, sen pienempi on riski aiheuttaa tuhoa. Toinen kantava ajatus materiaalivirtatarkastelussa on, että minimoimalla ihmisen systeemiin sisään otetun materiaalin määrä minimoidaan samalla myös syntyvän jätteen ja vaikutusten määrä. Kyse on varovaisuusperiaatteesta. Pienentämällä suoraa vaikutuksia ympäristöön pienennetään samalla potentiaalia aiheuttaa epäsuoria vaikutuksia (Schmidt-Bleek 2000).

MIPS mittaa siis materiaalivirtoja ja jakaa ne palvelusuoritteella. Materiaalivirtaa kuvaa MI (Material Input), joka yleensä ilmoitetaan kilogrammoina tai tonneina. MI saadaan laskettua Wuppertal-instituutin (2003) julkaisemien materiaalien MI-kerrointen avulla. MI-kerroin tarkoittaa samaa kuin piilovirtakerroin. Terminä piilovirtakerroin on kuvaavampi. Se kertoo piilossa tapahtuvista materiaalivirroista eli ilmoittaa materiaalin tuottamiseen vaadittujen välillisten materiaalipanosten määrän. Se kuvaa kaikkea sitä materiaalimassaa, jota on jouduttu liikuttelemaan jotta haluttu materiaali on saatu tuotettua. Materiaalivirta jaetaan siitä saadulla hyödyllä (Service Unit, palveluyksikkö). Näin voidaan laskea toiminnon hyötysuhde tai sen (eko)tehokkuutta kuvaava luku. Rakentamisen tapauksessa hyvä palvelusuorite on bruttoneliö tai vuosiasuinneliö.

Yksinkertaisimmillaan laskenta suoritetaan niin, että kulutettu materiaalmäärä kilogrammoina, esimerkiksi betoni, kerrotaan betonin piilovirtakertoimella, joka ilmoitetaan neljässä eri kategoriassa: abioottisessa, bioottisessa, vedessä ja ilmassa. Saadut luvut ilmoittavat kulutetun kokonaismateriaalmäärän kyseisessä kategoriassa. MIPS-laskelmia tuotteille tehtäessä mukaan lasketaan viidentenä myös eroosio, jota ei kuitenkaan tässä tutkimuksessa ole huomioitu, koska sen merkitys oletettiin rakentamisessa pieneksi. Eroosion ottaminen mukaan on perusteltua kun laskennan kohteena on peltoviljeltyjä luonnonmateriaaleja sisältäviä komponentteja

Abioottinen tarkoittaa uusiutumattomia, elottomia luonnonvaroja. Tällaisia ovat esimerkiksi kaivos-toiminnan siirtelemät maamassat, mutta myös maasta louhitut tai pumpatut tuotteet, kuten hiili tai öljy. Bioottinen puolestaan tarkoittaa uusiutuvia, elollisia luonnonvaroja. Myös eläimet ovat tässä kategoriassa, joskin välillisesti: niiden syömä bioottinen materiaali lasketaan eläimen "sisältämiksi" luonnonvaroiksi. Ilma-kategoriaan lasketaan prosesseihin otettujen ilman komponenttien paino, käytännössä happi, joka sitoutuu polttoprosessissa hiileen ja vetyyn lopputulokina hiilidioksidi ja vesihöyry. Veden kulutuksessa lasketaan teknisin toimenpitein luonnosta otettu tai padottu vesi (Schmidt-Bleek 2000).

Summaamalla abioottinen, bioottinen ja eroosio saadaan TMR (Total Material Requirement), eli materiaalien kokonaiskäyttö. Muita MIPS-luonnonvaraluokkia, eli ilmaa ja vettä ei lasketa mukaan TMR-termiin. TMR kuvaa kaikkea suoraan ja epäsuorasti kulutettua materiaalia välittämättä sen bioottisesta tai abioottisesta laadusta. MIPS-laskentaa tehdään tyypillisesti yksittäiselle tuotteelle tai palvelulle. Materiaalivirtalaskentaa voidaan kuitenkin tehdä myös laajemmassa kehyksessä. Lähtötietoina voidaan käyttää yritysten ja valtioiden tilinpäätöksiä ja laskenta perustaa reaktioyhtälöille ja aineen häviämättömyyden lakiin. Kansakunnan tasolla tällaisia TMR-laskelmia on tehty Thule-instituutissa, jossa on laskettu Suomen ainetaseet (Mäenpää 2005).

Eko- ja materiaalitehokkuuden käsiteviidakko saattaa hämmentää asiaan perehtymättömän. Yksi esimerkki olkoon ekologinen selkäreppu, joka on käytännössä sama kuin MIPS, mutta selkäreppussa tuotteen kokonaismateriaalivirroista vähennetään tuotteen oma paino. Termi kuvaa tuotteen ”repussa kantamaa” kokonaismateriaalinkulutusta (Schmidt-Bleek 2000).

Ekologinen jalanjälki pyrkii kuvaamaan maa-alaa, joka tarvitaan kunkin toiminnon tai hyödykkeen tuottamiseen ja vaikutusten "käsittelyyn", neutralointiin. Mittari tarkastelee ainevirtoja siis vain välillisesti. (Wackernagel ja Rees 1996)

Alanne ja Saari (2007) ovat käyttäneet MIPS-menetelmää asuinrakennusten energiantuottojärjestelmien ympäristövaikutusten arvioinnissa. He nostavat esiin Hertwicken ja muiden metodivertailun (Hertwich ym. 1997), jossa MIPS-menetelmän todetaan olevan pintapuolinen ja yksinkertaistava menetelmä, mutta soveltuvan hyvin koulutuksellisiin tarkoituksiin selkeytensä ja havainnollistavuutensa ansioista. MIPS-menetelmän ongelmana on, ettei se ota kantaa aineiden myrkyllisyyteen. Toisena epäkohtana voidaan pitää sitä, että kaikki materiaalivirrat lasketaan vaikutuksiltaan yhtä haitalliseksi ajasta ja paikasta välittämättä. Näidenkin seikkojen lisäksi esim. Heli Koskinen (2001) on myös esittänyt että MIPS-menetelmän heikkous on sen arvotusten piilottaminen. Joissain tutkimuksissa MIPS on myös havaittu hyväksi menetelmäksi kuvaamaan karkealla tasolla, mihin tulisi kiinnittää huomiota kokonaisvaltaisessa ympäristötarkastelussa (esim. Autio ja Lettenmeier 2000, Lähteenoja ym. 2006).

2.2 Katsaus aiempiin tutkimuksiin

MIPS-tutkimusta asuinrakennuksista ei Suomessa ole juuri aiemmin tehty. Ainoa laajempi talotutkimus on toimistorakennuksiin keskittyvä Paula Sinivuoren tutkimus. Hänen pro gradu -tutkielmaan (Sinivuori 2004) pohjautuva artikkeli on julkaistu myös alan kansainvälisessä lehdessä (Sinivuori ja Saari 2006). Siinä laskettiin kahden Helsingin yliopiston rakennuksen luonnonvarojen kulutukset. Helsingin yliopiston Kumpulassa sijaitsevan Physicum-rakennuksen todettiin kuluttavan abioottisia luonnonvaroja 279 kg huoneistoneliömetrivuotta kohden, kun tarkasteltava ajanjakso on sata vuotta. Viikin kampuksella sijaitsevan Infokeskuksen vastaava luku oli 240 kg/m^2 . Luvut sisälsivät lämmitys- ja sähköenergian (kiinteistösähkö) käytön.

MIPS-menetelmä on kotoisin Saksasta. Siellä on tehty talotutkimuksia, joita esitellään seuraavassa. Saksalainen rakennustapa eroaa jonkin verran suomalaisesta, joten eri maiden tutkimusten tuloksia ei suoraan voida verrata suoraan keskenään. Suomen ankara talvi ja routa asettavat erityisvaati-

muksia rakentamiselle Keski-Eurooppaan verrattuna. Ongelmana on myös eri MI-kertoimet eri maissa sekä ajan myötä muuttuneet kertoimet. Seuraavassa esitetyt tutkimukset auttavat kuitenkin MIPS-laskennan tulosten suuruusluokan arvioimisessa myös suomalaisia asuinrakennuksia laskettaessa.

Mohr ja Nitschke (1995) tarkastelevat tutkimuksessaan kahden eri tavoin rakennetun talon MI-arvoja. Tiilimuurattu talo on rakenteiltaan kevyempää teräselementtitaloa suurempi resurssien kulluttaja jos tarkastellaan vain rakentamista. Noin kymmenen vuoden käytön jälkeen tilanne kääntyy päinvastaiseksi teräselementtitalon huonon lämmöneristävyyden seurauksena.

Rohn ja Kennedy (1997) ovat vertailleet eri materiaaleista valmistettujen omakotitalojen MI-arvoja. Talot olivat toisiaan vastaavia n. 115 m^2 (asuineliömetri) kokoisia. Viiden eri talon arvot abioottisessa kategoriassa asettuivat välille 1 300 – 2 800 kiloa asuineliötä kohden. Puu- ja savi-olki-rakenteiset talot aiheuttivat noin puolet pienemmät materiaalivirrat kuin tiili-, solubetoni- ja kalkkihiekkakivirakenteiset vastaavat. Työssä ei tarkasteltu ylläpidon aikaisia materiaalivirtoja, mutta savi-olki-rakenteen todettiin olevan lämmöneristävyydeltään muita parempi.

Sager ja Wangelin (1998) ovat vertailleet neljän erilaisen talon MI-lukuja. Abioottiset materiaalivirrat sijoittuvat 2 443 ja 6 955 kg:n välille asuineliötä kohden. Kaksi kellarein varustettua taloa vaati yli 6 000 kg kumpikin, kun taas ilman kellaria rakennetut jäivät alle kolmen tuhannen kilon per neliö.

Herbst (2000) pyrkii tutkimuksessaan soveltamaan passiivitaloajattelua kerrostalorakentamiseen. Työssä laskettiin erilaisten talojen hintoja ja MI-arvoja eri aikaväleillä. Taloudelliset ja ekologiset laskelmat ohjaavat monessa tapauksessa eri suuntiin. Eri talojen abioottiset arvot vaihtelivat 1 100 ja $1\,900 \text{ kg:n/m}^2$ välillä.

Kivinen ym (2008) ovat kylmäpihattotutkimuksessaan laskeneet erilaisten rakennevaihtoehtojen luonnonvarakulutusta MIPS-menetelmällä. Erilaisten karjasuojien parsipaikkaa kohti laskettu TMR vaihteli välillä 3 000 – 4 000 kg.

Koskelan ym. (2002) tutkimus pyrkii nimeämään mittarit, jotka ovat oleellisia rakennusten ekotehokkuutta arvioitaessa. Kyseessä ei ole MIPS-tutkimus, mutta laskennassa käytetään MIPSiin pohjaavaa kokonaismateriaalinkäyttömallia, johon on sisällytetty kierrätyspotentiaalitieto. Materiaalivaiennat, ylläpidon aikainen energiankulutus ja talon sijainti olivat kolme tärkeintä esille nousutta muuttujaa. Kerrostalon todettiin kuluttavan 990– 1 210 tonnia materiaalia 1 346 brm²:ä kohti eli noin 750 kg/brm².

Erja Heinon (2002) toimittamassa Ekotehokkuus rakennusallalla -kirjassa tarkastellaan mm. erilaisien seinärakenteiden materiaali- ja energiavirtoja. Puu- ja olkirakenteet todetaan ympäristövaikutuksiltaan pienimmiksi. Vertailtavana olivat puu- ja olkirakenteiden lisäksi muun muassa betonisandwich- ja tiili-betoni-rakenteinen ulkoseinä.

Walbaumin ja Buergin (Wallbaum & Buerg 2003) artikkeli esittelee MIPS-menetelmän käyttöä ja perusteita yhdessä kirjoittajien kehittämän COMPASS-konseptin kanssa. Kirjoitus on yleisluontoinen silmäys aiheeseen, eikä sisällä varsinaisia uusia tuloksia.

Yhteenvetona esitellyistä tutkimuksista voidaan sanoa, että suuren painoarvon saavat rakentamiseen liittyvät maansiirtotyöt. Kellarin rakentaminen omakotitaloon muuttaa abioottisten luonnonvarojen kulutuksen MIPS-tuloksia todella merkittävästi suuren kaivutarpeen vuoksi. MIPS-tutkimusten lukeminen ja tulkitseminen vaatii selvästikin menetelmään perehtymistä. Ilman sitä lukuja voi olla vaikea ymmärtää. Kun tarkastelujaksoa pidennetään, muodostaa kulutettu energia yhä suuremman osan kokonaiskulutuksen sisällöstä.

2.3 Muita lähestymistapoja ja tutkimuksia rakentamisesta ja ympäristöstä

Tyypillisesti rakentamisen ja asumisen ympäristövaikutuksia on tutkittu rakennusosa kerrallaan. Häkkinen (2002) on laskenut rakennusmateriaaleille ja -osille ympäristöominaisuuksia ja esitellyt rakennusalan ekotehokkuuden indikaattoreita yleisemminkin.

Tämä tutkimus perustuu paljolti Junnilan ja Saaren (1998) tutkimukseen asuinkerrostalon rakennus- teknisten rakennusosien elinkaaren ympäristökuormista. Heidän tutkimuksessa on mallinnettu tyy- pillinen suomalainen kerrostalo, jonka ympäristövaikutuksia tarkastellaan koko elinkaaren (40 vuot- ta) ajalta. Energiaa kolmikerroksisen betonikerrostalon bruttoneliötä kohti kului tuolla ajanjaksolla 13 140 MJ ja materiaalimassoja 2 930 kg. Hiilidioksidia syntyi 1 145 kg.

Mielenkiintoisen katsauksen materiaali- ja energiatehokkuuteen tarjoavat Nishioka ym. (2000), jot- ka ovat laskeneet kahden erilaisen asuinrakennuksen materiaalin- ja energiankäyttöä. Vähemmän materiaalia kuluttanut rakennus todettiin pitkällä aikavälillä suureksi energiankuluttajaksi, minkä lisäksi sen kestävyys äärimmäisten luonnonilmiöiden ilmetessä arvioitiin kehnommaksi.

Citherlet ja Defaux (2007) ovat laskeneet kolmen eri lailla rakennetun, mutta mitoiltaan yhtenevän pientalon elinkaaren aikaisia ympäristövaikutuksia. Matalaenergiatalo jää kokonaisvaikutuksiltaan kaikissa kategorioissa muita haitattomammaksi, vaikka rakentamisvaiheen vaikutukset ovatkin hieman muita suuremmat.

Erilaisia tapoja arvioida rakennusten ja rakentamisen ympäristövaikutuksia on lukuisia. Zhang ym. (2006) listaavat yhdeksän erilaista tapaa ja kehittävät itse vielä yhden lisää. Ding (2008) listaa eri- laisia rakennusten arviointi- ja pisteytysmenetelmiä peräti kaksikymmentä, joista noin puolet keskit- tyy enimmäkseen energiatehokkuuteen. Mukana on myös maan- ja vedenkäyttöä, sekä taloudellista arvottamista. Vain yksi menetelmä pohjaa puhtaasti ja elinkaariarviointiin (LCA = life cycle as- sessment). Menetelmäpuolella kiinnostava on erilaisia laskentatapoja vertaileva tutkimus (Nässén ym. 2007), joka toteaa, että alhaalta ylöspäin (bottom up) etenevä LCA-tutkimus helposti aliarvioi kuljetusten vaikutuksen rakentamiseen nähden, kun verrokkina on ylhäältä alas (top-down) etenevä

systeemitarkastelu. Rakennettua neliömetriä kohti laskettuna systeeminen top-down-tutkimus antaa 90 prosenttia suuremman energiankulutuksen. Tämä hämmäyttävä seikka on syytä pitää mielessä myös bottom up -tyylisiä MIPS-tutkimuksia tarkasteltaessa: Pieniä osia summatessa saattaa kokonaiskuva jäädä vääristyneeksi.

3 Asuinrakennukset ja asumisväljyys Suomessa

Tässä luvussa luodaan katsaus asumista ja rakentamista käsitteleviin tilastoihin sekä käydään läpi pien- ja kerrostalojen määritelmiä ja rakenteita.

3.1 Trendejä

Vuonna 1970 54 prosenttia asutokannastamme koostui erillisistä pientaloista. Rivi ja ketjutyypisten talojen osuus oli tuolloin vain 2 prosenttia ja kerrostaloasuntojen 40 prosenttia. Ketjutettu talo tarkoittaa esim. paritaloa. Vuonna 2004 asutokannasta oli pientaloja 40 prosenttia, ketju- ja rivitaloja 14 prosenttia ja kerrostaloja 44 prosenttia. Näiden lisäksi on vielä pieni osuus asuntoja, jotka sijaitsevat luokittelun ulkopuolella olevissa rakennuksissa. Niiden osuus pieneni vuoden 1970 vajaan neljästä prosentista noin kahteen ja puoleen prosenttiin. Vuonna 2004 valmistuneista asunnoista 57 prosenttia oli pientaloja, mukaan lukien ketjutetut talot (Tilastokeskus 2005).

1970-luvulla, kiivaan rakentamisen aikana uusista asunnoista 65 prosenttia tehtiin kerrostaloihin, 25 prosenttia erillisiin pientaloihin ja 10 % ketjutettuihin taloihin. Sen jälkeen pientaloasumisen osuus uudisrakentamisessa on kasvanut huomattavasti.

Suomen rakennuksista noin 40 prosenttia on puurakenteisia, 45 prosenttia kivirakenteisia ja loput teräsrakenteisia. Puurakenteiset talot ovat käytännössä kaikki pientaloja puukerrostalojen äärimmäisen pienen osuuden vuoksi. Teräs- ja puurakentamisen osuus saattaa kasvaa tulevaisuudessa. Tähän ovat syynä uudet palosuojelumääräykset, jotka sallivat mm. nelikerroksisten puutalojen rakentamisen. Myös teräsrakentaminen hyötyy uusista määräyksistä (Anderson 1995; Karjalainen 2002; Kyyrönen 2004).

Asumisväljyydessä muutos on ollut samassa ajassa dramaattinen. Vuonna 1970 henkeä kohden oli asuinpinta-alaa 19 m^2 ja huoneita 0,97, kun vuonna 2004 henkeä kohden oleva asuinpinta-ala oli kasvanut $37,1\text{:een m}^2$ ja huoneitakin oli 1,75 henkeä kohden (Tilastokeskus 2005).

Kerrostaloasuntojen keskikoko ei ole reilussa kolmessakymmenessä vuodessa kasvanut juurikaan. Vuonna 1970 kerrostaloasunnon keskikoko oli noin 50 m^2 , kun se vuonna 2003 oli noin 55 m^2 . Rivi- ja ketjutalojen asuntokoko on jopa pienentynyt muutaman neliömetrin ja oli vuonna 2003 noin 70 m^2 , kun taas erillisten pientaloasuntojen keskikoko on paisunut noin 65 m^2 :stä aina hieman yli sataan neliömetriin asti. Erillisissä pientaloissa asumisväljyys on suurinta. Sataa huonetta kohti asukkaita oli vuonna 2003 pientaloissa 56 henkeä, rivi- ja ketjutaloissa 60 ja kerrostaloissa 59. Vuonna 2004 valmistuneiden yhden asunnon pientalojen keskimääräinen huoneistoala oli 142 m^2 , kun se ketjutetuissa taloissa oli 78 m^2 ja kerrostaloissa 58 m^2 .

1970-luku oli kerrostaloasuntojen rakentamisen kulta-aikaa. Jo 1980-luvun alussa valmistuneista asunnoista suurin osa oli kuitenkin erillisissä pientaloissa, kunnes 1990-luvun alussa kerrostaloasuntoja valmistui taas eniten aina vuoteen 2004 asti, jolloin erillisten pientaloasuntojen valmistusmäärä kasvoi jälleen kerrostaloasuntojen tasalle. Vuonna 2005 Suomeen valmistui 560 uutta kerrostaloa (Tilastokeskus 2005).

Tiivistäen voidaan sanoa, että suomalaiset asuvat koko ajan väljemmin ja että pientalojen suhteellinen osuus samaan aikaan kasvaa. Ympäristövaikutusten kannalta tätä voidaan pitää lähtökohtaisesti huonona asiana: pientaloasuminen edellyttää jokaiselle asunnolle monia sellaisia tiloja, mutta myös rakennusosia ja rakennusteknisiä kohteita jotka kerrostalossa voitaisiin jakaa. Asuntojen sijoittelu päällekkäin ja kyljittäin vähentää väistämättä myös ulkokuoren suhteellista pinta-alaa ja täten myös lämpöhukkaa.

3.2 Kerrostalot

Ensimmäiset kerrostalot rakennettiin Suomeen 1800-luvun loppupuolella. Tuon ajan talot olivat rungoltaan tiilimuurattuja. Seinän paksuus rappauksineen oli noin 60 cm tai jopa 75 cm, jos kahden tiilen leveyden sijasta käytettiin kahden ja puolen tiilen leveyttä. 1930-luvulla ulkoseinistä alettiin tehdä ohuempia, noin 45 cm paksuja. Uudet reikätiilet eristivät lämpöä vanhoja paremmin. Seiniin alettiin myös liittää eristemielessä tehokkaampia rakenteita, kuten kevytbetonia tai korkkia (Neuvonen 2006).

Alkuaikoina välipohjat tehtiin yleensä puurakenteisina. Myös teräspalkkeja saatettiin käyttää vaativissa ylityksissä tai esim. kaakeliuunien alla. Kellari- ja pihakäytävien pohjissa käytettiin tiiliholvi-rakenteita. 1920-luvun aikana rakenteeksi välipohjissa vakiintui teräsbetoninen alalaattapalkisto. 1950-luvulla välipohjarakenteena yleistyi teräsbetoninen massiivilaatta, jonka päällä oli askelää-nieristekerros ja sen päällä ns. uiva laatta, noin viisi senttiä paksu teräsbetonirakenne. Noihin aikoihin elementtirakentamisessa tehtiin ensimmäisiä kokeiluja. Vuonna 1958 Helsinkiin rakennettiin ensimmäinen elementtiseinäinen kerrostalo. Varsinaisesti elementtirakentaminen nousi vallitsevaksi tavaksi tehdä kerrostaloja 1970-luvulla. Tuolloin ontelolaatta vakiintui pikkuhiljaa välipohjien rakenteeksi. Kirjo erilaisissa runkoratkaisuissa oli kuitenkin suurta. 1990-luvulla ontelolaatan vakio-paksuudeksi muodostui 320 mm entisen 265 mm:n sijaan (Neuvonen 2006; Laitinen 1996), Häkkinen 1998; Koukkari 1996).

Kantavien ja ei-kantavien seinien ero korostuu jonkin verran betonitalossa. Ei-kantavat seinät ovat ohuempia kuin kantavat. Ulkoverhoilun ja eristeen määrä on kuitenkin sama. Kantavat seinät kulkevat yhtenäisinä linjoina alas perustuksiin asti, missä talon paino jaetaan maaperän kannettavaksi. Ei-kantavat seinät voidaan joko ripustaa kantaviin seiniin kerroskohtaisesti, kuten tehtiin 1950- ja 60-luvun nauhajulkisivuissa, tai sitten ne voivat seistä omilla perustuksillaan maassa, jolloin ne ovat itsekantava rakenne (Neuvonen 2006).

Seinää kutsutaan kantavaksi tai ei-kantavaksi sen mukaan, kannatteleeko se välipohjia. Kantava seinä osallistuu siis talon koossa pitämiseen, ei-kantava kannattelee vain itseään.

Pitkänmallisessa kirjahyllyrunkoisessa kerrostalossa kantavat seinät kulkevat talon pitkään sivuun nähden poikittaisina linjoina. Rakenne muistuttaa nimensä mukaisesti kirjahyllyä. Koska pitkät sivut eivät ole kantavia, eikä niiden varaan voida siis ripustaa painavia rakennusosia, on parvekkeet toteutettu usein itsekantavana rakenteena. Tyypillisesti parvekkeet ovatkin seisseet omina erillisinä pielituetuina torneina. Parvekkeiden taustaseinät on saatettu tehdä puurakenteisina. Tämä oli tavallista ainakin 1970-luvulla (Neuvonen 2006). Savolainen (1998) on esittänyt, että kirjahyllyrunгон väliseinien sijaan pitkän sivun seinät voitaisiin tehdä kantaviksi. Teoksessa esitetään myös muita toimenpiteitä ja rakennusmetodeja, joiden avulla materiaalienekkiä voitaisiin vähentää.

Kerrostalojen rakentamisen materiaali-intensiteetin voi arvioida vaihdelleen aikojen saatossa: paksumat tiilimuuratut ulkoseinät kuluttavat luonnollisesti paljon materiaalia. Toisaalta puurakenteiset välipohjat ovat kevyitä. Nykyiset esijännitetyt rakenteet ovat tarkasti optimoituja materiaalinkäytössä. Materiaalivahvuuksien kautta säästöä ei siis voitane hakea. Jos kerrostalojen materiaali-intensiteettiä halutaan pienentää, tulee betonin tilalla käyttää korvaavia, kevyempiä materiaaleja tai pyrkiä muuttamaan rungon kantavien linjojen suunnittelua ja paikkaa tavoilla, joita Savolainen (1998) on esittänyt.

3.3 Pientalot

Pientalo on rakennus, jossa ei ole päällekkäin eri asuinhuoneistoihin kuuluvia tiloja. Tyypillisessä uudessa pientalossa on noin 130-150 asuineliömetriä (Penttilä ja Koskenvesa 1999). Tällaisia taloja Suomeen valmistui vuonna 2005 vajaat 13 000 kappaletta (Tilastokeskus 2005).

Pientaloissa rakenteiden ja materiaalien kirjo on suurempaa kuin kerrostaloissa. Yleisimpiä rakennusaineita ovat puu ja kevytsoraharkot. Tiiltä käytetään myös melko paljon. Höllemmät palosuojelumääräykset kerrostaloihin nähden mahdollistavat mielikuvituksen käytön rungon rakennusmateriaaleja valittaessa. Pientalon voi vallan hyvin rakentaa vaikkapa oljista ja savesta (Sundell 1994; Kähkönen 1985; Laitinen 1995; Westermarck ym. 1996 ja Westermarck ym. 1998; Siikanen 1998).

Noin 2/3 suomalaisista pientaloista rakennetaan pääasiassa paikalla. Yli puolet taloista toimitetaan

pakettiratkaisuina. Myös pakettiratkaisut voivat sisältyä paikalla rakennettavien kategoriaan. Runkomateriaaleista yleisin on puu, täystiilirunkoisten osuus on kymmenen ja harkkorunkoisten viiden prosentin luokkaa. Elementtirakentamisen eri muotoja pientaloissa ovat pien-, suur- ja tilaelementistä rakentaminen. Pienelementtejä voi yleensä liikutella kahden rakentajan voimin, suur- ja tilaelementit edellyttävät nostokalustoa. Suurelementeistä voidaan pientalon runko koota yhden päivän aikana. Helpoimmillaan se koostuu neljästä seinäelementistä ja yläpohjasta. Tällaisiin elementteihin on jo tehtaalla asennettu ikkunat ja kaapelointien läpiviennit. Myös höyrysulku on jo rakenteissa (Penttilä ja Koskenvesa 1999).

Eräänlainen paikalla rakentamisen ja elementtirakentamisen välimuoto on pre cut, jossa tontille toimitetaan talotehtaalta valmiiksi määrittäen sahatut puuosat, jotka sitten naulataan paikoilleen oikeassa järjestyksessä. Pre cut on luonteva valinta elementtien sijaan silloin kun huonetiloista halutaan korkeampia tai rakenteet ovat muulla tavoin monimuotoisempia. Pre cut mahdollistaa myös elementtejä paremmin oman työn hyödyntämisen, koska määrittäisinä toimitettujen puuosien liikuttelu luonnistuu ilman elementtien vaatimaa nostokalustoa.

Plattform-tekniikalla toteutettu puurakennus, oli se sitten kerros- tai pientalo, perustuu siihen, että taloa rakennetaan vähän kerrallaan ylöspäin kerros kerrokselta aina edellisen kerroksen lattiaa työtasona käyttäen. (Viljakainen 1997) Välipohjat tahdotaan yleensä tehdä melko ohuiksi. Puulla ei välipohjien paksuuksista puhuttaessa voida toteuttaa aivan yhtä pitkiä jännevälejä kuin esijännitetyillä betonilla jos välipohjan paksuus halutaan säilyttää samana. Tästä seuraa helposti se, että kaikki seinät suunnitellaan kokonaisuutta kannattaviksi. Esijännitettyjä betonilaattoja käytettäessä jännevälit voivat olla todella pitkiä, jolloin kantavien seinien väliin sijoitettavat huoneistoa jakavat seinät on mahdollista tehdä kevytrakenteisiksi eikä niiden tarvitse kannattaa kokonaisuutta. Pystysuuntaisen kuormituksen lisäksi rakennus täytyy jäykistää kestäväksi myös kiertäviä ja vinoja voimia. Tyypillinen tapa jäykistää puurunkoinen talo on käyttää seinissä ja lattiassa vaneri- tai kipsilevyjä. Puukerrostaloissa kipsilevy on hyvä vaihtoehto sen paloturvallisuuden takia (Siikanen 1999).

Pientaloissa rakennusmateriaalien kirjo on suurta. Kaikki vaihtoehdot olki-savi-rakenteesta betoniin ja teräkseen ovat käytössä. Kerrostaloissa vallitseva rakennusmateriaali on betoni. Puu- ja teräsrakentaminen on huomattavasti harvinaisempaa.

4 Materiaalit ja menetelmä

Tässä luvussa kerrotaan laskentamenetelmistä sekä käytetystä aineistosta ja tutkimuksen rajauksista.

Varsinaisina mallinnettavina oli neljätoista erilaista taloa. Yhdeksän niistä oli pientaloja ja viisi kerrostaloja. Omina tapauksinaan erilaisia perustustapoja mallinnettiin lisäksi kahdeksan toisistaan poikkeavaa. Lisäksi mallinnettiin neljä erilaista kerrostaloa muista poikkeavalla laskutavalla ja tutkittiin pihan ja liikennealueiden rakentamisen vaikutuksia. Talojen rakenteet on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

4.1 Laskentatyökalun laadinta ja käytetty aineisto

Rakennusten kokonaismateriaalivirrat laskettiin taulukkolaskentaohjelmaan pohjautuvalla työkalulla, joka laadittiin tätä tarkoitusta varten. Kaiken pohjana oli lista rakennusmateriaaleista (Liite 1), joille kullekin oli määriteltä tai määriteltiin MI-arvot eli piilovirtakertoimet. Mukaan otettiin myös hiilidioksidikertoimet sekä valmistuksen kuluttama energia jaettuna uusiutuvaan ja uusiutumattomaan. Lähteinä hiilidioksidi- ja energiatiedoille olivat Häkkinen (1997), Junnila ja Saari (1998) sekä Pingoud ja Perälä (2000).

Wuppertal-instituutti (2003) ylläpitää piilovirtatietoja, joita käytettiin pääasiallisina piilovirtakerrointen lähteinä. Kerrointen puuttuessa ne laskettiin ainesosien perusteella. Jos tämä ei ollut mahdollista, käytettiin jonkin vastaavan tuotteen kertoimia. Näin toimittiin esim. kevytsoran kanssa, jolle ei ollut määrätty MI-kerrointa. Kevytsora laskettiin tiilen kertoimella. Molemmat materiaalit tehdään savesta polttamalla, joten MI-kertoimet ovat samaa suuruusluokkaa. Kaikki käytetyt kertoimet lähteineen on lueteltu liitteessä 1.

Materiaaleista koottiin edelleen rakennusosia. Rakennusosalista on kokonaisuudessaan esitetty liitteessä 2. Pääasiallisena lähteenä rakennusosien materiaalmäärissä oli Rakennustietosäätiön ja Rakennustieto Oy:n Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet (Saari 2001). Teoksen mittojen mukaan materiaaleille laskettiin tiheyden kautta massat. Massalla kerrottiin kunkin materiaalin piilovirta- ja päästökertoimet, jotka summaamalla tuloksena oli rakennusosayksikköä kohden ilmoite-

tut materiaalivirrat ja päästöt. Suurin osa rakennusosista oli helpointa laskea neliömetreinä.

Viimeisessä vaiheessa valmiita rakennusosia laskettiin mukaan niin paljon, että saatiin koottua kokonaisia taloja. Seiniä, alapohjia ja muita rakennusosia otettiin laskuihin mukaan määrä, joka tarvittiin kokonaisen talon kasaamiseen.

MIPS-laskennassa vesi-kategoriaan lasketaan mukaan luonnolliselta reitiltään syrjään johdettu vesi. Rakennuksen ohjaama sadevesi tulee siis laskea mukaan. Sadannan määräksi laskelmissa on oletettu 500 mm/a. Sademäärää on käytetty laskelmissa vedenkulutuksen laskemiseen: Rakennuksen potentiaali vaikuttaa veden kulkuun on sadanta \times pinta-ala \times aika. Rakennus kuluttaa MIPS-laskennan mukaan vettä myös käyttöaikanaan, koska se uudelleenohjaa sadeveden luonnollista virtausta.

4.2 Tutkimuksen rajaus

Rakennuksen osat voidaan Kyyrösen (2004) mukaan jakaa kahteen pääryhmään: rakennus- ja kone-tekniisiin osiin. Tässä työssä tarkastellaan yksinomaan rakennusteknisiä osia rajaten niistäkin pois sisustusrakenteet. Konetekniset osat kuten talotekniikka jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Tutkimuksen talot koostuvat siis maarakenteista, runkorakenteista ja täydentävistä rakenteista. Maarakenteita ovat rakennusalueen maansiirrot, kuten piha-alueen salaojitus ja routasuojaus, sekä istutus- ja liikennealueiden päällystäminen ja pohjustaminen. Näiden tehtävä on alueen muokkaaminen rakentamiselle ja asumiselle suotuisaksi.

Runkorakenteita ovat talon pystyssä pitämiseen osallistuvat osat, perustukset, kantavat pystyrakenteet ja vaakarakenteet, jotka siirtävät kuormansa pystyrakenteiden kannettavaksi. Täydentäviä rakenteita ovat osat, joilla runko varustellaan asumiseen sopivaksi. Näitä ovat muun muassa kevyet ulko- ja sisäseinät, ikkunat, ovet, parvekkeet, portaikot jne. Sisustusrakenteita, jotka siis on tässä työssä suljettu pois, ovat rappaukset, maalaukset, tapetoinnit, lattioiden päällystämiset jne.

Tutkimuksen rajauksesta johtuen voidaan sanoa, että saadut tulokset ovat minimiarvioita rakennusten luonnonvarojen kulutuksesta. Esimerkiksi Sinivuoren (2005) mukaan talotekniikka on kupari-

johtoineen merkittävä tekijä toimistorakennusten luonnonvarojen kulutuksessa.

Tutkimus on rajattu koskemaan talojen rakennusteknisiä osia. Mukana ovat seinät, niin kantavat kuin ei-kantavatkin, perustukset, perusmuuri, ala- väli- ja yläpohjat, vesikate, huoneistojen sisällä olevat seinät ja ikkunat. Laskelmista pois on jätetty sisustusmateriaalit ja kaikki talotekniikka, kuten sähköjohdot, putket ja ilmanvaihtolaitteistot. Kerrostaloihin ei ole laskettu mukaan parvekkeita.

Tarkastelussa on mukana rakennusmateriaalien materiaalikanokset "tehtaan portille" asti. Kuljetukset on suljettu pois tarkastelusta. Niinikään pois on suljettu rakentamistyön vaikutukset, kuten työmaakoneiden polttoaineenkulutus jne.

Ylläpidon ajalta on laskettu talon kuoren, kuoren läpi virtaava energia. Ilmanvaihdon mukanaan haihduttama lämpöenergia on jätetty laskematta, kuten on jätetty myös asumistoimien ja kodinkoneiden kuluttama energia.

4.2.1 Ylläpito

Ylläpidon energiankulutus on laskettu vain rakennuksen kuoren läpi virtaavan energian osalta. Tutkimuksen luvuissa ei siis ole mukana kaikkea käytön aikaista energiankulutusta. Tiedot on kerätty Rakennusosien ympäristöselosteista (Saari 2001). Lämpövuot osien läpi on laskettu astepäiväluvulla $S20$ arvo $5\,000\text{ }^{\circ}\text{Cvrk/a}$, mikä vastaa lämmitystarvelukua $4\,220\text{ }^{\circ}\text{Cvrk/a}$. Tällaiset lämpöolot valitsevat Suomessa Tampereen korkeudella Näin esimerkiksi neliömetri seinää, jonka k -arvo on $0,25$, vuotaa lävitseen 150 MJ ($n.42\text{ kWh}$) energiaa vuoden aika. Mahdolliset uusimiset ylläpidon aikana jätettiin huomioimatta. Ylläpitoajaksi on tutkimuksessa laskettu 50 vuotta. Tuon ajan hyvin hoidettu talo kestää ilman mainittavia uusimisia.

4.2.2 Palvelusuoritteena vuosiasuinneliö

Tuloksissa käytetään paikoitellen ekotehokkuuden osoittajana, eli palveluyksikkönä vuosiasuinneliötä. Vuosiasuinneliö lasketaan summaamalla rakentamisen ja ylläpidon aikaiset vaikutukset yhtä asuinneliötä kohti ja jakamalla ne ylläpito vuosien määrällä. Näin laskemalla saadaan rakentamisaikaiset vaikutukset jaettua mielekkäästi. Ylläpitoaika pidentämällä rakentamisaikaiset vaikutukset vuosiasuinneliötä kohti pienenevät. Ylläpidon aikaiset vaikutukset puolestaan pysyvät vuodesta toiseen samana, koska rakennus kuluttaa vuodesta toiseen saman määrän energiaa.

4.3 Mallinnetut rakennukset

Tutkimuksessa mallinnettiin pien- ja kerrostaloja, sekä erilaisia perustamistapoja. Seuraavassa esitetään rakennusten mallintamisen periaatteet.

4.3.1 Mallinnetut pientalot

Kaikki pientalot olivat pohjaltaan 9 x 9 metrin kokoisia kaksikerroksisia taloja. Pohjan ala on siis 81 neliömetriä. Pientalon tyypillinen brutto- ja hyötyalan suhde on 1,10-1,25 (Koskenvesa & Nissinen 1999). Laskelmissa on käytetty tehokkuuslukua 1,15, jolla bruttoalaltaan 162 m² esimerkkirakennusten käyttöalaksi saadaan 141 m². Rakennukset ovat pohjaltaan neliön mallisia kaksikerroksisia yhden huoneiston pientaloja. Neliön mallinen pohja tarjoaa ulkovaipan suhteen optimaaliset tilat; Tehokkaampi voisi olla vain pyöreä talo. Kerroskorkeudeksi perustarkastelussa valittiin kolme metriä. Kaksikerroksinen talo tarkoittaa, että koko yläkerta on täyskorkea, sisätilojen katto on siis kauttaaltaan tasainen. Kerroskorkeus on 3 metriä, huonekorkeus 2,6 metriä. Ikkuna-alaksi perustarkastelussa valittiin 14 prosenttia asuinpinta-alasta, eli hieman alle 20 m². Rakennuslaki edellyttää vähintään 10 prosentin ikkuna-alaa. Valtion rahoittamissa pientaloissa 14 prosentin ja kerrostaloissa 17 prosentin ikkuna-ala on maksimi energiansäästösyistä (Kyyrönen 2004). Ulko-ovia esimerkkitaloissa on kaksi kappaletta, kooltaan 900 x 2 300 mm. Niiden yhteenlaskettu ala on siten 4,14 m².

Kertomalla ulkosivujen pituudet kerrosten määrällä ja kerroskorkeudella ja ottamalla luvusta pois

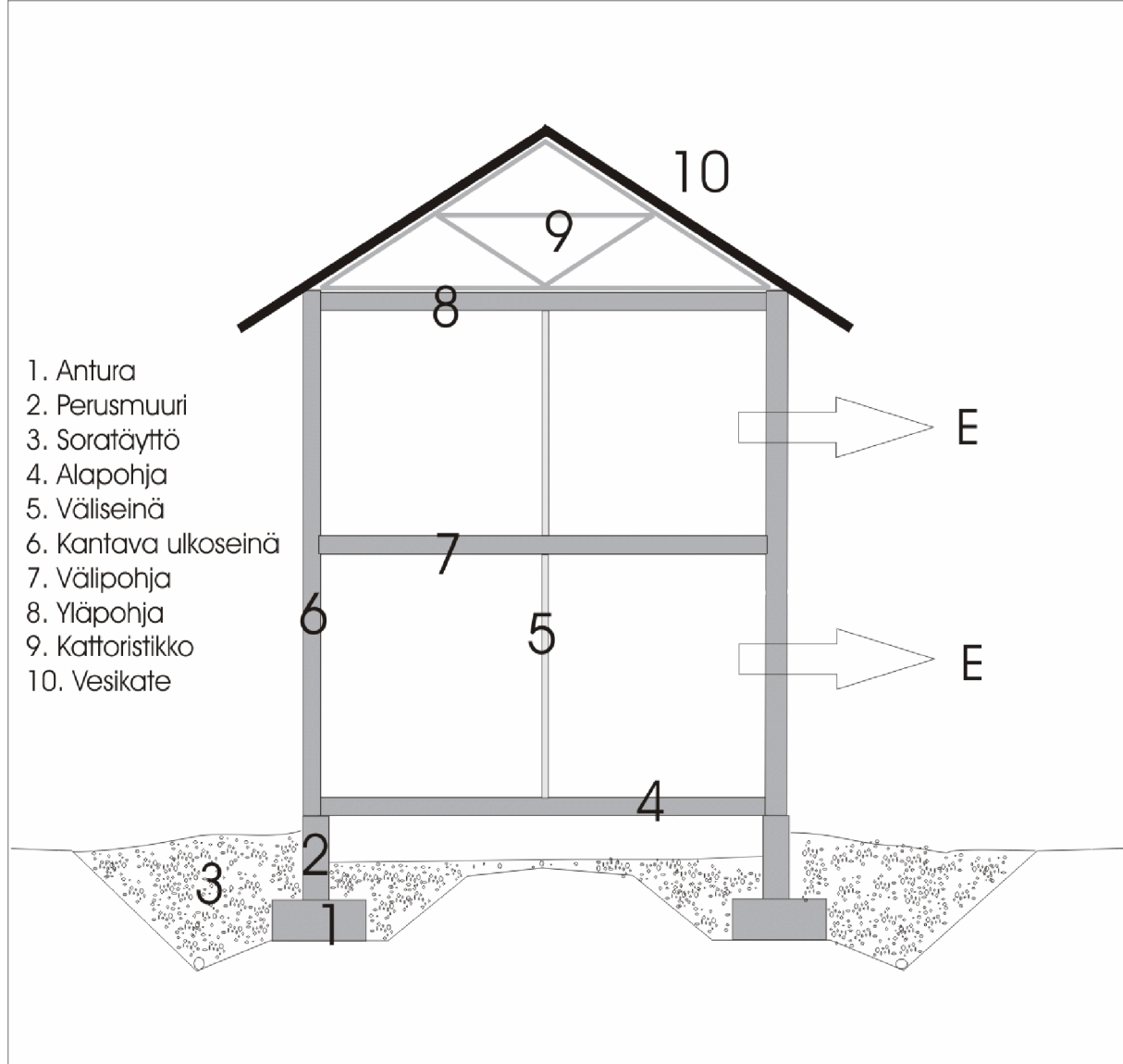
ikkunoiden ja ovien pinta-alan summa, saadaan ulkoseinän pinta-alaksi 192 m^2 . Ala-, väli- ja yläpohjan pinta-alat ovat pohja-alan mukaisesti 81 m^2 kukin. Vesikate tehdään harjamalliseksi 1:3 kallistuksella ja lappeet ulotetaan metri ulkoseinästä ulospäin kaikilla sivuilla. Vesikatteen pinta-alaksi tulee tällöin $106,4 \text{ m}^2$. 1:3 kallistus tarkoittaa, että metrin matkalla kate laskee 33 cm. Tällainen kallistus sopii useille erilaisille katemateriaaleille (Kyyrönen 2004).

Perustamissyvyys on yksi metri maanpinnan tason alapuolella. Perustusten laskennassa lähteinä ovat olleet Rantamäki ja Tammirinne (2000), Keppo (2002) ja Kyyrönen (2004). Pientalon mallinnettua rakennetta havainnollistaa kuva 1.

Pientalon mallissa mukana olevat rakennusosat dimensioineen on esitetty taulukossa 1. Erilaisia pientaloja on mallinnettu vaihtamalla rakennusosia erilaisiksi mutta säilyttämällä dimensiot ennallaan

Taulukko 1. Pientalomalli

Rakennusosa	Esimerkkiosa	yksikkö	määrä
välipohja	Puinen välipohja (h=280mm),	m ²	81
eristetty ulkoseinäala	Puurunkoinen ulkoseinä, lautaverhous, (k-arvo 0,22)	m ²	192,14
yläkolmion ala	Puuseinä	m ²	13,5
yläpohja	Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (k-arvo 0,15)	m ²	81
ikkuna	Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)	m ²	19,722
väliseinäala	Kevyt väliseinä m ²	m ²	93,6
alapohja	Kantava alapohja, ontelolaatta (h=265mm), k-arvo 0,19	m ²	81
humuksenpoisto	humuksen poisto200mm	m ²	127,55
soraa pohjalle	soratäyttö 100mm	m ²	81
kevytsoraeristettä	kevytsoratäyttö 100mm	m ²	81
sivu1	Antura kevytsoraharkkoista 600	jm	18
sivu2	Antura kevytsoraharkkoista 600	jm	18
sivu1	Anturan kaivanto ja täyttö	jm	18
sivu2	Anturan kaivanto ja täyttö	jm	18
sivu1	perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)	jm	18
sivu2	perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)	jm	18



Kuva 1. Mallinnetun pientalon havainnekuva

4.3.2 Mallinnetut kerrostalot

Kerrostaloja mallinnettiin kaksi eri variaatiota. Erona on vain kerrosluku, joka toisissa on kolme ja toisissa viisi. Ikkuna-alat ja tehokkuusluvut ovat samat kuin pientaloissa, jotta tuloksia voisi verrata.

Mallinnetut kerrostalot ovat kolmi- ja viisikerroksisia, pohjaltaan 60 x 12 m. Tämä tarkoittaa 2160 bruttoneliometriä kolmikerroksisella ja 3 600 bruttoneliometriä viisikerroksisella kerrostalolla. Suhteellinen ikkuna-ala ja asuinneliöiden suhde bruttoneliöihin ovat samat kuin pientaloissa.

Kerrostalot on niinkään varustettu tuulettuvalla alapohjalla perustamissyvyyden ollessa sama yksi metri maanpinnan tason alapuolella kuin pientaloillakin. Mallina kerrostaloille käytettiin soveltuvilta osin Neuvosen (2006) kerrostalojen rakenteita esittelevää teosta. Taulukossa 2 on esitetty kerrostalolaskujen malli dimensioineen. Erilaisia kerrostaloja mallinnettiin vaihtamalla rakennusosiksi

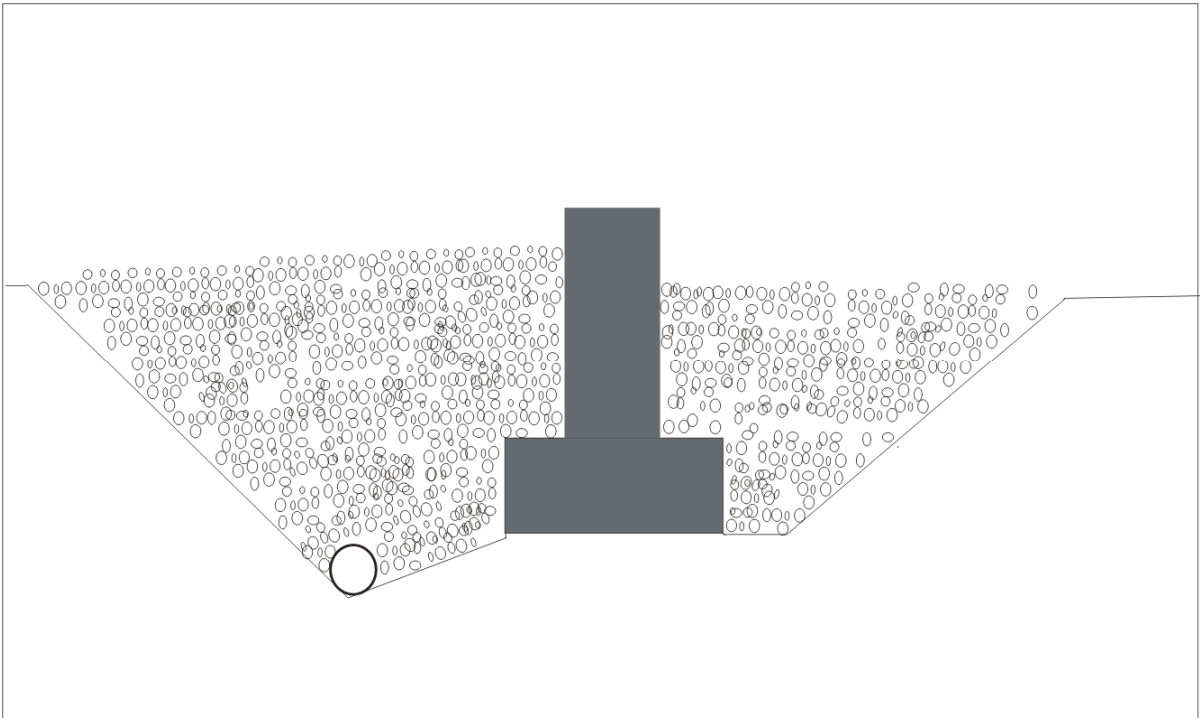
erilaisia vaihtoehtoja, mutta pitämällä dimensiot ennallaa.

Taulukko 2. Kerrostalomalli

Rakennusosa	Esimerkki	yksikkö	määrä
välipohja	Välipohja (ontelolaatta 265mm) m2	m2	1440
kantava väliseinä	Kantava väliseinä (teräsbetoni 180mm) m2	m2	324
eristetty ulkoseinäala	Betonisandwich ulkoseinä (k-arvo = 0,24) m2	m2	981,29
yläkolmion ala	Muut ulkoseinät m2	m2	24
yläpohja	Yläpohja ja ullakkorakenteet (k-arvo = 0,17) m2	m2	720
yläpohja	Vesikate pellistä m2	m2	720
ikkuna	Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)	m2	262,96
väliseinäala	Kevyt väliseinä m2	m2	561,6
alapohja	Kantava alapohja, ontelolaatta (h=265mm), k-arvo 0,19	m2	720
humuksenpoisto		m2	914,95
soraa pohjalle 45cm	soratäyttö 100mm	m2	720
kevytsoraeristettä	tyhjyys	eimitn	720
sivu1	Anturat seinälinja 300*600	jm	60
sivu2	Anturat sisäpuoli 400*800	jm	12
sivu1	Anturat seinälinja 300*600	jm	60
sivu2	Anturat sisäpuoli 400*800	jm	12
kantavien väliseinien anturat	Anturat sisäpuoli 400*800	jm	36
pitkät sivut	Anturan kaivanto ja täyttö	jm	120
lyhyet sivut ja kantavien väliseinien perustukset	Anturan kaivanto ja täyttö	jm	60

4.3.3 Perustusten mallintaminen

Perustusten merkitys laskelmissa on suuri niiden vaatimien massiivisten kaivutöiden johdosta, joten sen laskentakaava on esitetty tässä kokonaisuudessaan kuvitettuna (Kuva 2). Perustaminen aloitetaan poistamalla rakennuksen alalta humuskerros. Perustusten vaatimat kaivutyöt laskettiin oletta-
malla perustussyvyudeksi yksi metri alkuperäisestä maanpinnasta alaspäin. Tämä on se syvyys, johon anturoiden alin kohta tulee. Anturan reunasta ulospäin lasketaan 1:3 laskeva 0,8 m pitkä lasku, jonka pohjalle sijoitetaan salaojaputki. Tämän kaivannon pohjalta nousee 45° kulmassa ylös maanpinnan tasoon. Anturan sisäpuolella reunasta edetään vaakatasossa 10 cm, minkä jälkeen nousee samassa 45° kulmassa ylös tasoon, joka on 20 cm alempana kuin maanpinnan taso. Se osa kuoppaa, jota antura ei täytä, täytetään soralla. Anturan yläpinnasta nousee samasta materiaalista tehty perusmuuri tasoon, joka on 30 cm maanpinnan tason yläpuolella. Kuva 2 esittää perustusmal-
lin.



Kuva 2. Mallinnetuissa taloissa käytetyn perustustavan havainnekuva

5 Tulokset

Tulokset-luvun ensimmäisessä osassa esitetään rakennusosille lasketut MIPS-luvut sekä energian kulutus ja hiilidioksidipäästöt. Sen jälkeen esitellään tulokset erilaisille rakennuksille ja eri perustamistavoille. Tarkat tiedot rakennusosien materiaalmääristä on esitetty liitteessä 2. Liitteistä löytyvät myös esimerkiksi piha-alueiden pohjustamisen tulokset.

5.1 Rakennusosien luonnonvarojen kulutus

Taulukoissa 3 – 9 on esitetty laskennassa käytetyille rakennusosille saadut tulokset. Rakennusosat on luokiteltu ulkoseiniin (taulukko 3), väliseiniin (taulukko 4), välipohjiin (taulukko 5), yläpohjiin (taulukko 6), alapohjiin (taulukko 7), ikkunoihin (taulukko 8) ja perustuksiin (taulukko 9). Näissä taulukoissa on mukana rakentamisen aikaiset vaikutukset, paitsi E/vuosi-sarake, jossa on ilmoitettu rakennusosan läpi virtaavan energian määrä vuoden aikana silloin kun kyseinen osa on rakennuksen ulkovaippaa. Jos rakenne on talon ulkokuoren sisäpuolella kuten esim. välipohja tai -seinä, ei sen lävitse virtaa lämpöenergiaa. Tällöin E/vuosi-sarake saa arvon 0.). Täydelliset tiedot rakennusosista ja niiden tuloksista löytyvät liitteestä 2.

Ulkoseinät rakentuvat kantavasta osasta, eristeestä ja ulkoverhouksesta. Puuseinien kantavan osan sisäpuolella on levy, joka jäykistää rakennetta ja tekee siitä ilmatiiviimmän. Eristekerroksen ulkopuolella puuseinissä on tuulensuojalevy. Puuseinästä on kahta pääversiota, höyrysululla varustettua ja ilman sitä olevaa. Höyrysulkuna toimii ohut muovikalvo. Ilman höyrysulkua olevat seinät on eristetty selluvillaeristeellä, joka kykenee sitomaan ja luovuttamaan kosteutta. Höyrysululla varustetut rakenteet on eristetty mineraalivillalla. Betonisandwich-seinässä mineraalivilla on kantavan betonirakenteen ulkopuolella, tuulensuojalevyä tässä seinässä ei ole. Myös sisäpinta on vain betonia. Kevytsoharkkoseinä on rakenteeltaan samankaltainen betonisandwich-seinän kanssa: Kantavan harkkorakenteen ulkopinnalla on eristemateriaali, jonka ulkopuolella on tiiliverhoilu. Lämpöharkkoseinä on rakenteena tavallaan yksinkertainen, siinä eristekerros on jo tehtaalla asennettu rakenteen sisään, eikä rakennekerroksia tule kuin yksi.

Erilaisia ulkoseiniä on vertailtu taulukossa 3. Ulkoseinissä tiili on joukosta erottuva materiaali: rakennusaineena se nostaa seinän abioottisen luonnonvarakulutuksen todella korkeaksi. Kivimateriaa-

leista tehdyissä seinissä bioottisten luonnonvarojen kulutus on pientä tai sitä ei ole lainkaan. Puurakenteisissa seinissä bioottisen ja abioottisen materiaalin kulutus jakautuu puoliksi. Puurakenteiset seinät synnyttävät hiilidioksidipäästöjä rakentamisvaiheessa vain murto-osan siitä mitä tiilirakenteiset.

Taulukko 3. Ulkoseinien luonnonvarojen kulutus neliömetriä kohti

Betonisandwich kantava ulkoseinä (U-arvo = 0,24)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
565	2	2163	37	71	147

Puurunkoinen kerrostalon ulkoseinä, lautaverhous (k-arvo 0,21)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
112	85	1020	31	23	129

Puurunkoinen ulkoseinä, lautaverhous, (RT US 602) (k-arvo 0,22)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
117	81	1067	34	26	129

Puurunkoinen ulkoseinä, lautaverhous, selluvilla (k-arvo 0,19)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
82	81	910	12	8	118

Puurunkoinen ulkoseinä, tiilikuori (k-arvo 0,25)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
592	33	2221	44	118	140

Kevytsorarakoinen ulkoseinä, tiilikuori, (RT US 402) (k-arvo 0,21)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
573	0	2808	27	130	129

Tiilirunkoinen ulkoseinä, tiilikuori, (RT US 401) (k-arvo 0,21)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
858	0	2871	36	147	129

Kevytsoralämpöharkkorunkoinen ulkoseinä, (RT US 405) (k-arvo 0,25)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
336	0	6262	29	114	150

Väliseinät (taulukko 4) rajaavat tilaa rakennuksen sisällä. Seinät voivat olla asunnon huoneiden välisiä tai asuntojen välisiä. Betoninen väliseinä kuluttaa luonnonvaroja kevyitä puurakenteisia enemmän. Seinien läpi ei virtaa lämpöenergiaa, koska niitä ympäröi molemmilla puolilla lämmin sisätila. Kantava teräsbetoniväliseinä koostuu pelkästä 180 mm paksusta teräsbetonirakenteesta. Puurakenteiset väliseinät koostuvat puisesta rankarakenteesta ja seinän molemmin puolin tulevasta rakennuslevystä. Puisten väliseinien sisään laitetaan eristevillaa vaimentamaan seinän läpi kuuluvia ääniä.

Taulukko 4. Väliseinien luonnonvarojen kulutus neliömetriä kohti

<i>Kantava väliseinä (teräsbetoni 180mm)</i>					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
583	0	1822	22	61	0

Kantava huoneistojenvälinen puuväliseinä					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
93	47	735	14	22	0

Kevyt väliseinä, kevyempi versio					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
63	5	530	17	16	0

Kuten väliseinät, myös välipohjat (taulukko 5) ovat rakennuksen kuoren sisällä. Niitä ympäröi näin

ollen lämmin sisätila, jolloin lämmönsiirtymistä rakenteen läpi ei tapahdu.

Ontelolaattarakenne koostuu betonilevystä, jonka alaosaan on valuvaiheessa sijoitettu jännitetyt teräsvaijerit. Tällaisen laatan yläpintaan muodostuu puristusjännitys ja alapintaan vetojännitys. Vastaavasti betoni kestää puristusta hyvin, teräs taas kestää kovia vetojännityksiä. Ontelolaatan sisällä kulkee pitkittäisiä ilman täyttämiä onteloita. Ne keventävät rakennetta ja tarjoavat toisaalta väylän sähköasennuksille.

Puiset välipohjat koostuvat puisesta kantavasta palkkirakenteesta, jonka päällä on rakennuslevy. Palkiston alapuolella on niinkään rakennuslevy, joka kerrostalovälipohjassa on ripustettu joustinrankojen varaan. Tällainen vapaasti resonoiva massa vaimentaa välipohjan läpi kuuluvia ääniä. Levyjen välinen ilmatila täytetään eristemateriaalilla ääneneristyksen tehostamiseksi.

Taulukko 5. Välipohjien luonnonvarojen kulutus neliometriä kohti

Välipohja (ontelolaatta 265mm)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian kulutus MJ/v
499	0	1639	19	53	0

Puisen välipohja, kerrostalo					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian kulutus MJ/v
67	109	700	12	17	0

Puisen välipohja (h=280mm), (RT VP 601)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian kulutus MJ/v
53	77	696	14	16	0

Tutkimuksessa oli tarkasteltavana vain yhdenlainen yläpohjamalli (taulukko 6). Enimmäkseen puusta rakentuvana sen luonnonvarakulutus jää melko pieneksi. On syytä huomata kuitenkin, että yläpohjan luonnonvarojenkulutus, kuten energiankulutuskin ovat suuremmat kuin välipohjien. Luonnollisesti yläpohjan läpi virtaa myös lämpöenergiaa, koska se on osa rakennuksen kuorta. Näistä seikoista seuraa, että yläpohjan sijaan taloon on ekotehokkaampaa rakentaa välipohja ja lisä-

kerros: Kun asunnot sijaitsevat päällekkäin, on vasta ylimmällä asunnolla yläpohja, jonka läpi energiaa virtaa ulos. Sama koskee luonnollisesti myös ulkoseiniä. Kahta lämmintä asuntoa rajaavan seinän läpi ei karkaa energiaa. Asunnot on järkevää sijoittaa kiinni toisiinsa ennemmin kuin kaikki erikseen.

Yläpohja rakenne koostuu vaakapalkkistosta ja kattoristikosta. Vaakapalkkien alapintaan laitetaan rakennuslevy. Palkiston päälle ja väliin puhalletaan eristettä. Kattoristikon päällä ovat ruodelaudat, joihin peltikate kiinnitetään.

Taulukko 6. Yläpohjarakenteiden luonnonvarojen kulutus neliömetriä kohti

Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (RT YP 601) (k-arvo 0,15)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian kulutus MJ/v
140	58	1619	50	40	90

Alapohjat (taulukko 7) ovat ns. rossipohjia, eli tuulettuvia alapohjia. Niiden ja maan väliin jää ilmatila, joka on tuuletusaukkojen kautta yhteydessä ulkomaailmaan. Ontelolaattarakenteinen alapohja on puisten verrokkien rinnalla paljon materiaalia kuluttava. Selluvillaeristetty alapohja on erityisen edullinen niin luonnonvarojen kulutuksessa kuin hiilidioksidipäästöissäänkin. Selluvillan lähteenä on kierrätyspaperi, jolloin sen kaikki ympäristövaikutukset jäävät selvästi muita vaihtoehtoja pienemmiksi.

Tuulettuva alapohja on erityisen hyvä vaihtoehto alueilla, joilla maasta nousee merkittävästi radonkaasua. Maan ja alapohjarakenteiden välissä oleva tuulettuva ilmatila ehkäisee radonin tunkeutumisen sisätiloihin. Luonnollisesti ilmatila tekee myös veden kapillaarisen nousun rakenteisiin mahdolliseksi. Tämä toki pyritään varmistamaan myös kaikissa muissakin alapohjaratkaisuissa.

Alapohjat ovat rakenteeltaan hyvin vastaavia kuin välipohjat. Betonialapohja on esijännitetty laatta, jonka alapintaan on kiinnitetty solumuovieristekerros. Puiset alapohjat koostuvat kantavasta palkkirakenteesta ja sen molemmin puolin tulevasta rakennuslevystä, joiden väliin sijoitetaan eristemateriaali. Selluvillaeristetyssä alapohjassa ei ole höyrysulkua, toisessa puurakenteisessa alapohjassa höyrysulku on sisemmän rakennuslevyn alapuolella.

Taulukko 7. Alapohjien luonnonvarojen kulutus neliömetriä kohti

Kantava alapohja, ontelolaatta (h=265mm), (RT AP 501) k-arvo 0,19					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
516	0	2787	39	94	118

Tuuletettu puurakenteinen alapohja, (RT AP 601) (k-arvo 0,16)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
130	139	1424	50	39	97

Tuuletettu puurakenteinen alapohja, selluvilla (RT AP 601) (k-arvo 0,18)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
30	147	556	9	8	108

Moduulimittaisen 120x120 cm ikkunan valmistuksen veden kulutus ja hiilidioksidipäästöt nousevat yllättävän korkeiksi (Taulukko 8). Myös energialäpivirta on korkea, noin kymmenkertainen seiniin verrattuna. Ikkuna on kolmikerroksinen. Puitteet ovat puuta ja karmit alumiinia.

Taulukko 8. Ikkunan luonnonvarojen kulutus neliömetriä kohti

Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
50	61	779	14	171	1054

Erilaisten anturoiden välillä on vaihtelua luonnonvarakulutuksessa (Taulukko 9). Kevytsoraharkko-rakenteet ovat täysbetonisia kevyempiä. Eniten luonnonvaroja käytetään kuitenkin anturakuopan kaivu- ja täyttötöissä. Rakennusosittain tarkasteltuna perustustyöt, erityisesti kaivutyöt ja maan-täytöt kuluttavat luonnonvaroja todella paljon. Anturakuopan kaivaminen ja täyttäminen yhden met-rin matkalta kuluttaa liki kuusi ja puoli tuhatta kiloa abioottista materiaa. Määrä on hämmentävä kun sitä vertaa vaikkapa puisten ulkoseinien sadan – kahdensadan kilogramman suuruiseen kulu-tukseen.

Mallinnettujen talojen perustustapa on rakennuksen ulkoseinien linjassa kulkeva seinälinja-antura. Rakenteen alin kohta on leveä antura, joka jakaa rakennuksen painon kantavaan maaperään. Anturan keskeltä nousee ylöspäin perusmuuri, joka jatkuu aina alapohjaan asti. Perustaminen edellyttää kaivamista kantavaan maahan asti. Kun perustukset on rakennettu paikoilleen, täytetään kaivannon jäljelle jäävä osa karkealla soralla.

Taulukko 9. Seinäanturaperustusten luonnonvarojen kulutus juoksumetriä kohti

Antura kevytsoraharkoista 600 mm					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
323	0	1388	10	40	0

Anturan kaivanto ja täyttö kun perustussyvyys on yksi metri					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
6469	0	1388	10	6	0

Anturat seinälinja 300*600 mm					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
652	89	2085	26	68	0

Anturat sisäpuoli 400*800 mm					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
1153	118	3625	45	121	0

Perusmuuri 350*100 mm (kevytsoraharkko)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v
473	0	3610	15	117	0

Perusmuuri 350*100 mm (betoni)					
Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO2 kg	Energian ku- lutus MJ/v

1130	0	3371	42	118	0
------	---	------	----	-----	---

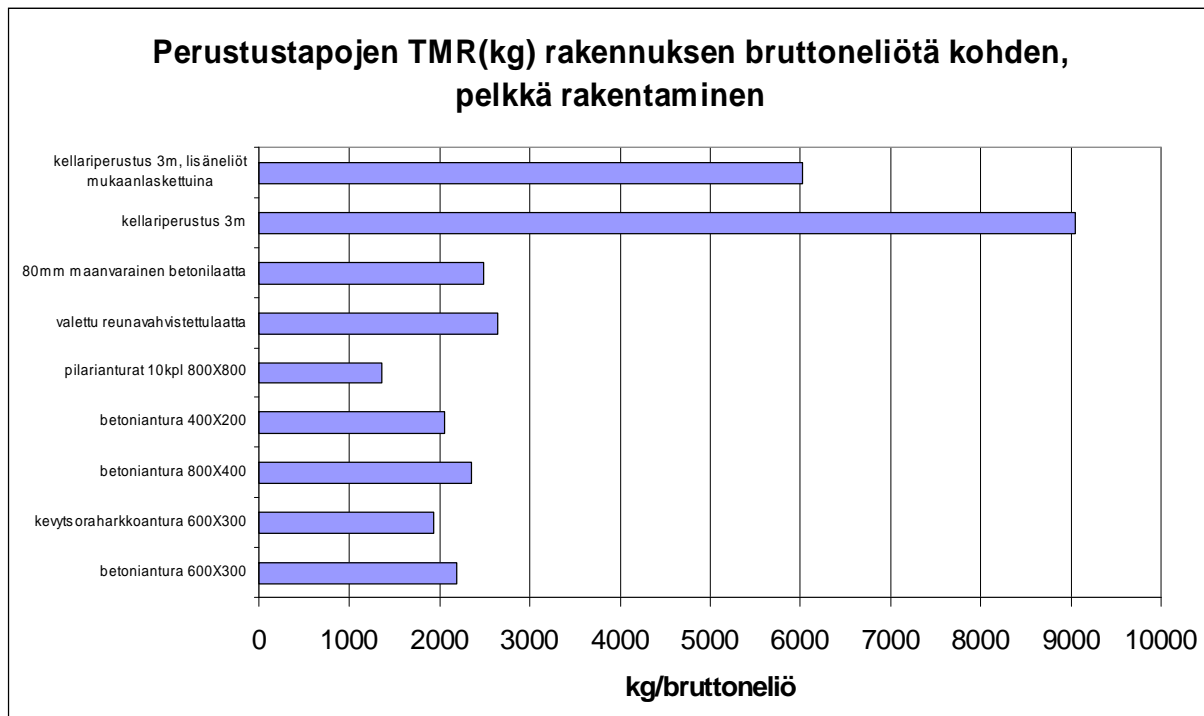
Mallinnetuissa taloissa käytettiin vain seinäanturaperustusta. Taulukossa 8 esitetään materiaali-intensiteetilaskelmat myös muutamalle muulle perustustavalle.

Erilaisten pientalon perustusten MI-arvot on esitetty taulukossa 10. Kellariperustus nousee joukosta huomattavasti muita suuremmilla arvoillaan vaikka sen tuoma lisätila otettaisiin huomioon. Perustustapojen välisessä vertailussa laskettiin vain MI-arvot, ei energiaa eikä hiilidioksidipäästöjä. Kuvassa 3 on graafinen esitys vertailusta.

Eri perustustapojen välillä on suuria eroja materiaalinkulutuksessa. Leveämpi antura vaatii luonnollisesti suuremmat maankaivut. Kevytsoraharkkoantura on täysbetonista verrokkiaan materiaaalitehokkaampi. Kellariperustus maansiirtoineen erottuu joukosta. Se kuluttaa suuret määrät materiaalia. Kaikkiin muihin tapoihin verrattuna ero on liki kolminkertainen. Pilarianturat vaativat vähiten kaivamista. Perustamistapana se erottuu joukosta muita pienemmällä TMR-luvullaan. Pilarianturat eroavat seinälinja-anturoista sillä, että ne ovat vain alapäästään leveitä pilareita, kun taas seinälinja-anturat kulkevat koko seinän matkalla. Pilarianturaperustuksen käyttäminen edellyttää erittäin hyvin kantavaa maaperää, koska rakennuksen paino jaetaan maaperään seinäanturaa pienemmän alan kautta. Pilarianturaperustusta käytetäänkin yleensä vain kevyissä kylmissä rakennuksissa.

Taulukko 10. Eri perustustapojen materiaalinkulutuksen vertailua.

PERUSTUKSET (antura ja muuri) 1m mallirakennuksen bruttoneliömetriä kohti		Abi- oot tinen kg	Bioot inen kg	Vesi kg	Ilma kg	TMR kg
Betoniantura 600*300 mm	brm ²	2157	40	1612	16	2196
Kevytsoraharkkoantura 600*300 mm	brm ²	1935	0,0	1470	6	1935
Betoniantura 800*400 mm	brm ²	2309	46	1879	20	2355
Betoniantura 400*200 mm	brm ²	2013	40	1434	14	2053
Pilarianturat 10 kpl 800*800 mm	brm ²	1331	32	1431	14	1363
Valettu reunavahvistettu laatta	brm ²	2611	40	2923	29	2651
80 mm maanvarainen betonilaatta	brm ²	2449	40	2596	26	2488
Kellariperustus 3 m	brm ²	9000	40	4421	47	9039
Kellariperustus 3 m, lisäneliöt mukana	brm ²	6000	27	2947	31	6026



Kuva 3. Eri perustustapojen materiaalinkulutuksen vertailua

5.2 Mallinnettujen rakennusten luonnonvarojen kulutus

Seuraavissa tuloksissa edellä esitetyistä rakennusosista on koottu kokonaisia taloja. Tässä luvussa esitellään talojen perustapauksien tulokset. Luvussa 5.3 esitellään tuloksia eri tavoin muokatuille taloille. Perustapaukset edustavat monilta mitoiltaan melko maltillista linjaa. Muokatuissa taloissa mittoja on muuteltu niiden vaikutuksen suuruuden arvioimiseksi.

Taulukossa 11 on esitetty rakentamisen ja viidenkymmenen vuoden ylläpidon energia- ja materiaa-
livirrat bruttoneliometriä kohden 14 erilaisesta talosta. Luvut sisältävät perustukset, jotka ovat kai-
killa pientaloilla samanlaiset ja kerrostaloilla samanlaiset. Poikkeuksen tekee puutalo paaluilla, joka
perustetaan betonipaalujen päälle. Muissa pien- ja kerrostaloissa on 300 x 600 mm kevytsorahark-
koanturaperustus.

**Taulukko 11. Talojen rakentamisen aikainen luonnonvarojen ja energian kulutus sekä hiili-
dioksidipäästöt bruttoneliölle laskettuina**

	TMR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO ₂ kg	Uusittuva E MJ	Uusittumaton E MJ
Täystiilipientalo	3 590	3 550	40	7 700	110	230	390	2 640
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	3 250	3 210	40	7 620	90	210	180	2 120
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	2 970	2 930	40	11 720	100	190	120	2 110
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	2 670	2 520	150	11 140	110	170	310	2 180
Puutalo, tiiliverhoilu	3 020	2 830	190	6 350	130	180	440	2 310
Puutalo, alapohja betonia	2 620	2 450	180	5 090	100	130	300	1 410
Peruspuutalo	2 510	2 270	240	4 980	120	120	330	1 520
Peruspuutalo, selluvillaeriste	2 400	2 150	250	4 040	50	70	450	900
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	1 280	1 030	250	4 920	70	100	460	990
3 krs betonikerrostalo	1 840	1 790	50	4 100	60	130	80	1 010
3krs puukerrostalo	1 180	970	200	2 310	60	60	120	740
5krs betonikerrostalo	1 460	1 420	30	3 730	60	120	70	910
5krs puukerrostalo	840	650	190	2 000	50	50	110	660
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	1 170	1 120	50	5 320	50	100	70	980
KESKIVARVO	2 200	2 064	136	5 787	82	132	246	1 462

Keskimäärin talojen bruttoneliötä kohti laskettu TMR on 2 200 kg. Tiilirakenteisen pientalon TMR on huomattavasti muita rakennuksia suurempi, 3 590 kg/brm². Yli puolet tiilirunkoisen pientalon abioottisesta luonnonvarakulutuksesta syntyy perustuksista ja niiden edellyttämistä maansiirroista. Tiilistä muurattu ulkoseinä vastaa kolmanneksen kulutuksesta. Ala-, väli- ja yläpohjan osuus kokonaisuudesta on yhteensä vain noin 16 prosenttia. Hiilidioksidipäästöissä perustusten osuus jää pienemmäksi kuin materiaalinkulutuksessa. Ulkoseinän suhteellinen osuus sen sijaan on korkea. Hiilidioksidipäästöistä hieman yli puolet syntyy seinän rakentamisesta.

Puisten verrokkitalojen TMR bruttoneliötä kohden jää tuhat kilogrammaa pienemmäksi kuin kivi-materiaaleista valmistettujen. Kerrostalojen eri versiot kuluttavat noin kaksi tuhatta kiloa vähemmän. Pelkkä tiilinen ulkoverhoilu riittää nostamaan myös kevytsoraharkkorunkoisen talon TMR:n yli kolmeen tuhanteen kiloon bruttoneliötä kohden. Hiilidioksidin tuotossa nuo kaksi taloa ovat omalla sataluvullaan muiden yläpuolella. Pienimmällä materiaalinkulutuksella selviää viisikerroksinen puukerrostalo, jonka bruttoneliö vaatii luonnonvaroja 840 kg. Muut talot sijoittuvat kulutuksillaan näiden lukujen väliin.

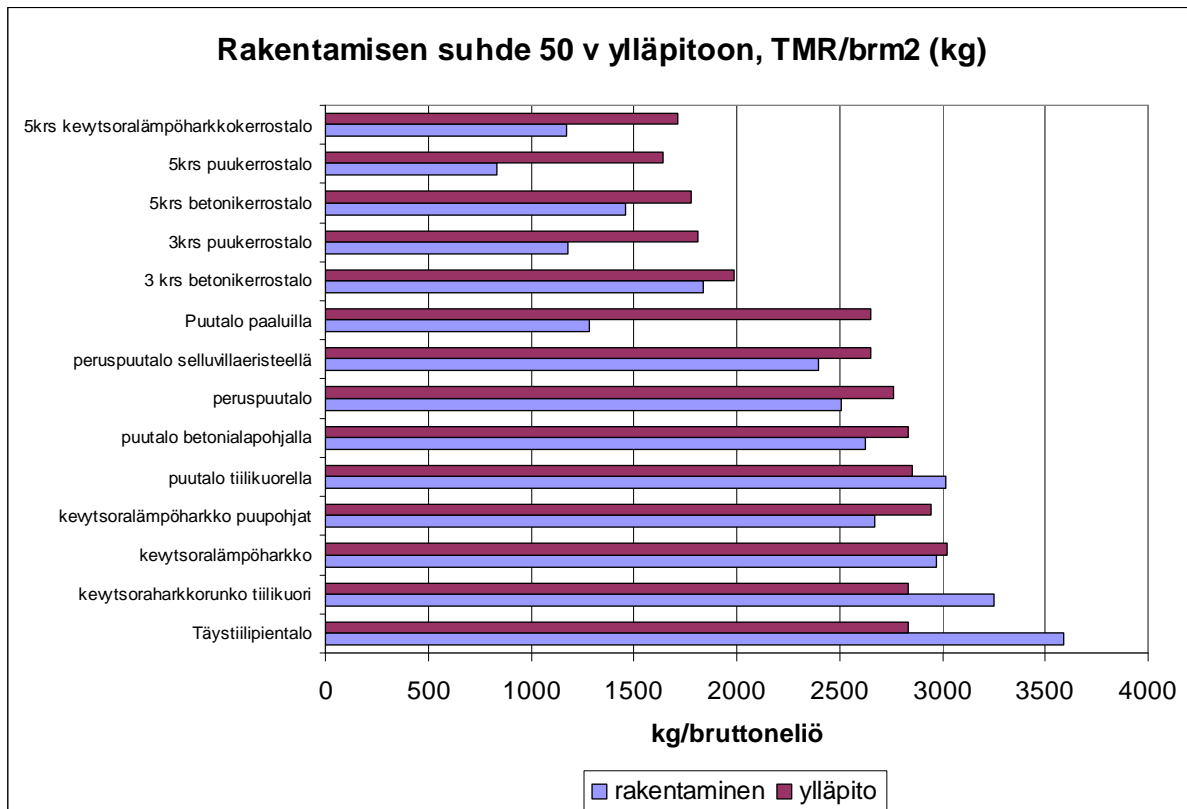
Talotyypeistä kerrostalot ovat kautta linjan johdonmukaisesti kaikilla osa-alueilla vähemmän materiaalia vaativia kuin pientalot. Puutalojen luonnonvarojen kulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat muista materiaaleista valmistettuja taloja pienemmät. Pientaloista edukseen erottuvat puutalot, erityisesti selluvillalla eristetty, joka varsinkin hiilidioksidipäästöissä on edullinen. Puutalo paaluilla on kevyt perustuksiltaan, mikä näkyy pienempänä TMR-arvona.. Täystiilitaloon verrattuna sen TMR on vain noin kolmannes. Vuosiasuinneliötä kohti lasketut ympäristövaikutukset ovat kerrostaloissa pientaloja pienemmät (taulukko 12). Vuosiasuinneliötä kohti tulevat ympäristövaikutukset lasketaan summaamalla rakentamisen ja ylläpidon ajan vaikutukset ja jakamalla ne asuinneliöiden määrällä ja ylläpitovuosilla. Viisikerroksinen puukerrostalo kuluttaa luonnonvaroja vain noin puolet kaikkien rakennusten keskiarvosta. Kerrostaloista painavin on kolmikerroksinen betonitalo, joka sekin jää selvästi voitolle selluvillapientalosta. Kun betonikerrostalossa on viisi kerrosta, yltää se jo lähelle kolmikerroksisen puukerrostalon lukuja TMR:ssa. Betonitalon TMR on suurempi, mutta lisäkerrokset vähentävät materiaali-intensiivisten perustusten suhteellista osuutta, jolloin TMR pienenee. Mallintamalla puukerrostalo viisikerroksisena tuloksena on jo erittäin pienen TMR-luvun omaava rakennus. Viisikerroksinen puukerrostalo on äärimmäisen edullinen vaihtoehto niin materiaalinkulu-

tuksessa kuin hiilidioksidipäästöissään. Viisikerroksinen kevytsoraharkkotalo on hiilidioksidipäästöissä samalla tasolla betonisen talon kanssa, mutta TMR jää jonkin verran vähäisemmäksi.

Taulukko 12. Talojen vuosiasuinneliötä kohden lasketut resurssienkulutukset ylläpitoaika 50 v.

	TMR kg	Abiootinen kg	Biootinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg
Täystiilipientalo	150	150	0	23 470	30	510	40
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	140	140	0	23 470	30	500	40
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	140	140	0	25 070	30	520	40
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	130	130	0	24 420	30	520	40
Puutalo, tiiliverhoilu	140	130	0	23 600	30	510	40
Puutalo, alapohja betonia	130	120	0	23 410	30	480	40
Peruspuutalo	120	120	10	22 770	30	470	40
Peruspuutalo, selluvillaeriste	120	110	10	21 840	30	440	40
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	90	80	10	21 860	30	450	40
3 krs betonikerrostalo	90	90	0	16 400	20	340	30
3krs puukerrostalo	70	60	0	14 910	20	300	20
5krs betonikerrostalo	70	70	0	14 670	20	300	30
5krs puukerrostalo	60	50	0	13 550	20	270	20
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	70	70	0	14 220	20	290	20
KESKIARVO	107	104	3	20 262	25	422	35

Materiaalinkulutus on suurinta rakentamisen aikana. Kuva 4 esittää rakentamisen ja ylläpidon aikaiset kokonaismateriaalinkulutukset. Viidenkymmenen vuoden ylläpito nostaa ylläpidon aiheuttamat materiaaliavirrat samalle tasolle rakentamisaikaisten kanssa. Suureen hajontaan ovat syynä rakentamisen aikaisten TMR-lukujen vaihtelu talojen välillä ja talojen toisistaan poikkeavat lämmöneristysten määrät. Vähempi eristys aiheuttaa suuremman ylläpidon energiankulutuksen, jolloin ylläpidollakin saavutetaan rakentamisen luonnonvarojen kulutuksen taso nopeammin. Tällainen vertaaminen on paikallaan silloin, kun pohditaan, milloin vanha rakennus on perusteltua purkaa ja rakentaa tilalle uusi vähemmän energiaa kuluttava.

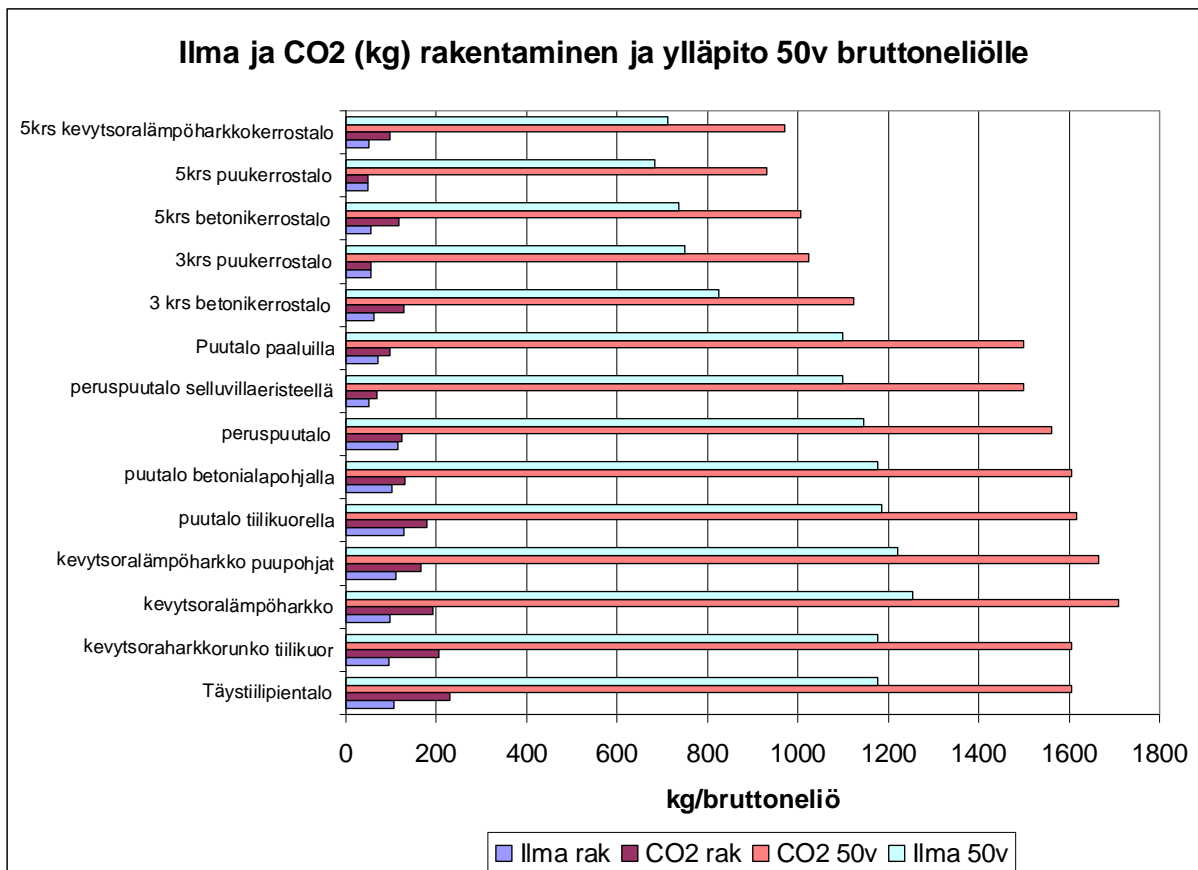


Kuva 4. Talojen TMR rakentamis- ja ylläpitoajalta (50 v)

Kuva 5 esittää ilman kulutuksen ja hiilidioksidipäästöjen määrät ja jakautumiset rakentamiselle ja ylläpidolle. Pientalojen hiilidioksidipäästöt ovat sekä rakentamisen että ylläpidon ajalta suuremmat kuin kerrostaloilla. Pientaloista tiilitalon rakentamisen hiilidioksidipäästöt ovat suurimmat. Tiilen määrän vähetessä ja puun määrän kasvaessa rakenteissa hiilidioksidipäästöt pienenevät. Kuvasta näkyy erittäin selvästi, että rakennuksen hiilidioksidi-intensiivinen vaihe on käyttö. Kuvassa 50 vuoden ylläpitovaiheessa on mukana pelkkä kuoren läpi virtaavan energian aiheuttama hiilidioksidikuorma. Se yksin on kuusinkertainen rakentamisaikaisiin päästöihin nähden. Energia- ja materiaa-
livirtapainottuneet tarkastelut luovat siis rakentamiseen ja asumiseen toisistaan vahvasti poikkeavat painotukset, ja molemmat on tärkeää ottaa huomioon. Taulukko 13 esittää ylläpidon ajalta energi-
ankulutuksen johdannaisvaikutukset.

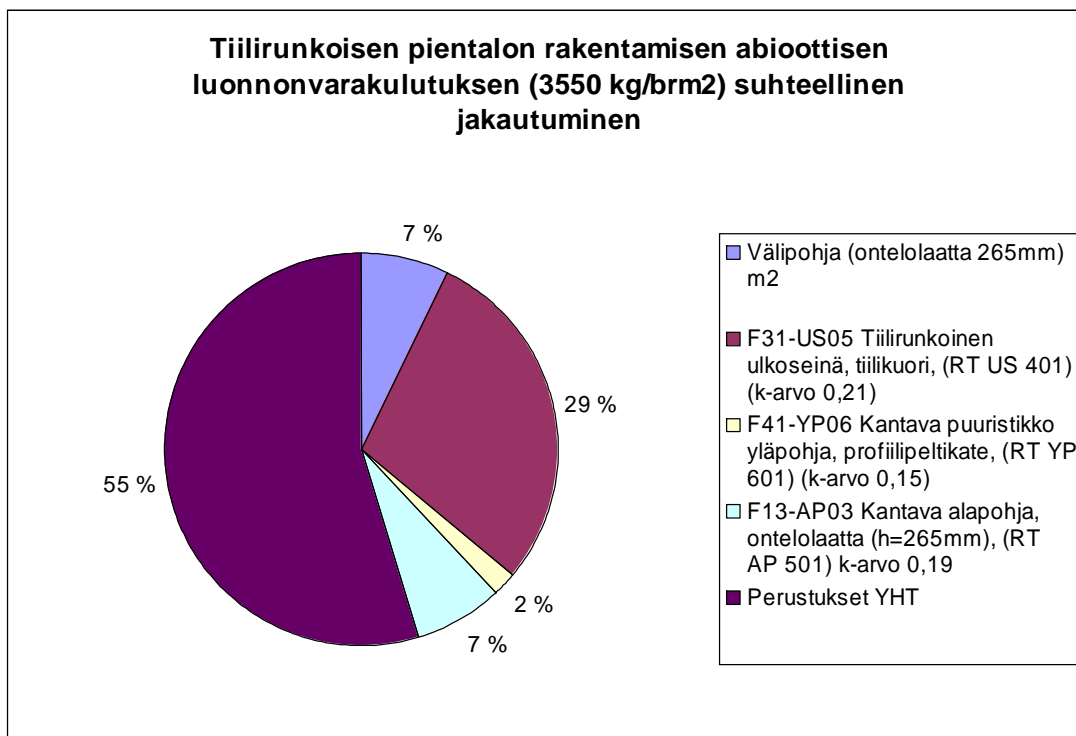
Taulukko 13. Talojen ylläpidon aikaiset (50 v) luonnonvarojen kulutukset ja päästöt bruttoneliötä kohti laskettuina

	Energia MJ	CO ₂ kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	sadeVesi kg
Täystiilipientalo	19 270	1 610	2 840	0	1 012 840	1 180	12 500
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	19 270	1 610	2 840	0	1 012 840	1 180	12 500
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	20 510	1 710	3 020	0	1 078 310	1 250	12 500
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	19 990	1 670	2 940	0	1 050 710	1 220	12 500
Puutalo, tiiliverhoilu	19 390	1 620	2 860	0	1 019 530	1 190	12 500
Puutalo, alapohja betonia	19 270	1 610	2 840	0	1 012 840	1 180	12 500
Peruspuutalo	18 740	1 560	2 760	0	985 240	1 150	12 500
Peruspuutalo, selluvillaeriste	17 990	1 500	2 650	0	945 680	1 100	12 500
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	17 990	1 500	2 650	0	945 680	1 100	12 500
3 krs betonikerrostalo	13 480	1 120	1 980	0	708 810	820	8 330
3krs puukerrostalo	12 280	1 020	1 810	0	645 810	750	8 330
5krs betonikerrostalo	12 060	1 010	1 780	0	634 120	740	5 000
5krs puukerrostalo	11 170	930	1 640	0	587 270	680	5 000
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	11 660	970	1 720	0	612 880	710	5 000
KESKIARVO	16 647	1 387	2 451	0	875 181	1 017	10 298

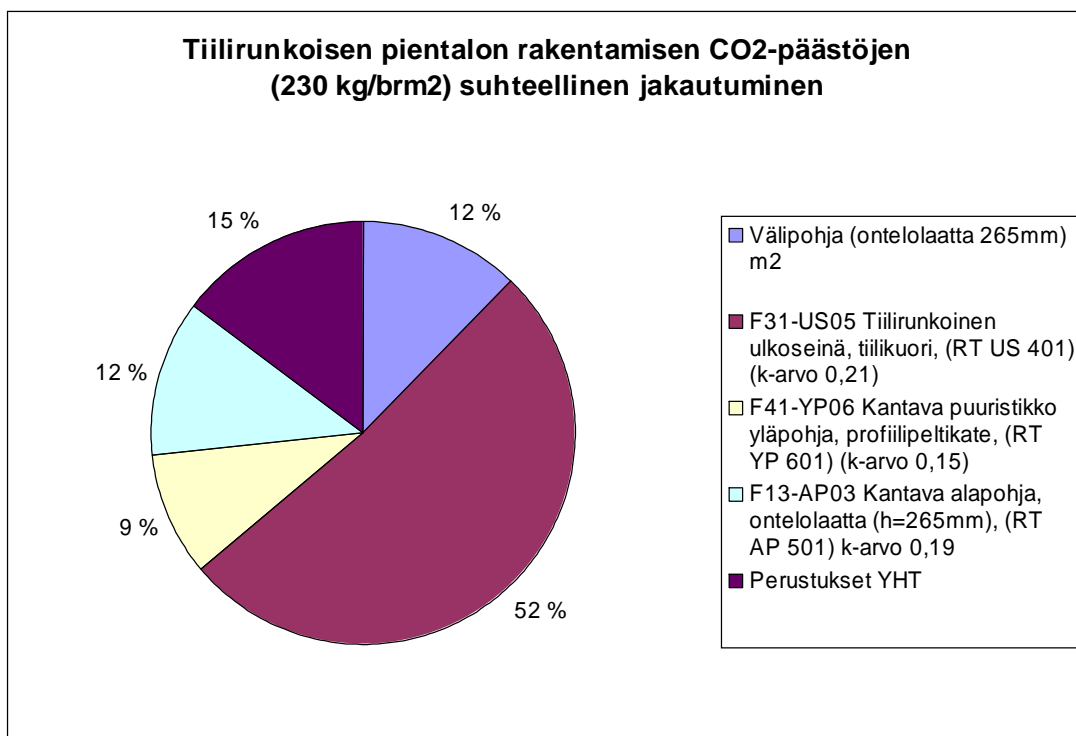


Kuva 5. Rakennusten ilman kulutus ja CO₂-tuotto rakentamis- ja ylläpitoajalle (50 v)

Eri ympäristövaikutukset ja kulutukset jakautuvat talossa eri osille. Kuvat 6 ja 7 esittävät niiden jakautumista rakennusvaiheessa eri rakennusosille kun tarkasteltavana on täystiilirunkoinen pientalo. Kuvasta 6 nähdään, että tämän tutkimuksen rajausten mukaisia materiaalivirtoja tarkasteltaessa perustukset määräävät tulosten suunnan. Rakentamisaikaisia hiilidioksidipäästöjä esittävä kuva 7 taasen näyttää, että tiilirunko on suurin yksittäinen päästölähde tiilitalon kohdalla.



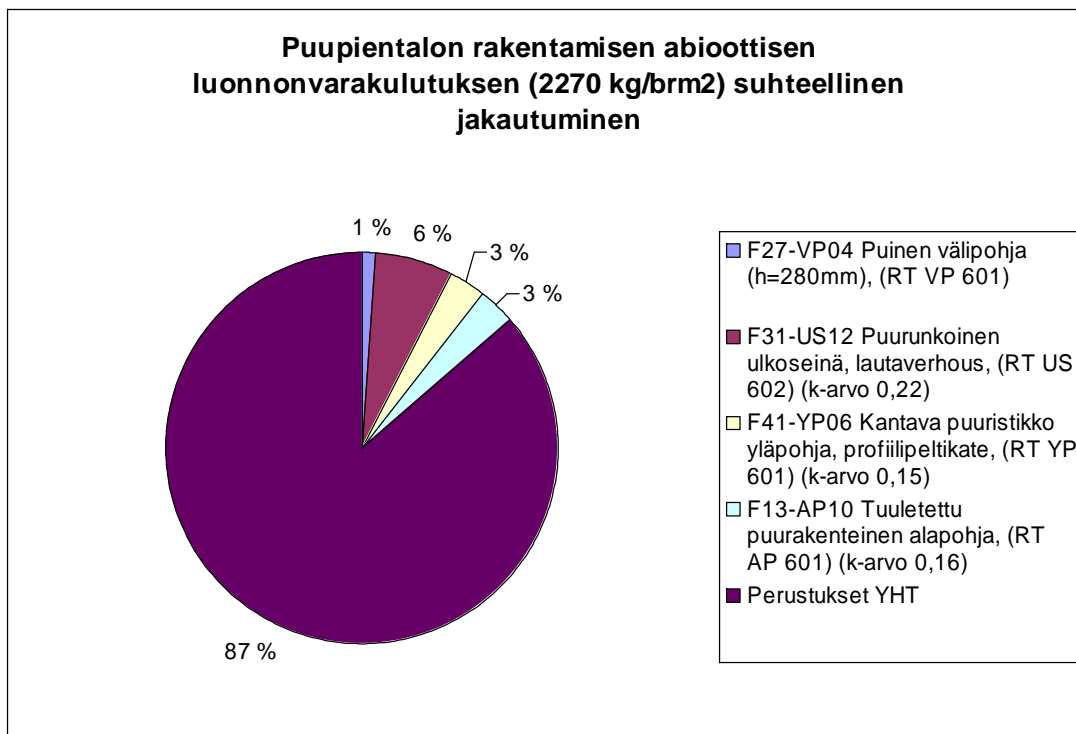
Kuva 6. Tiilirunkoisen pientalon rakentamisen abioottisen luonnonvarakulutuksen jakautuminen



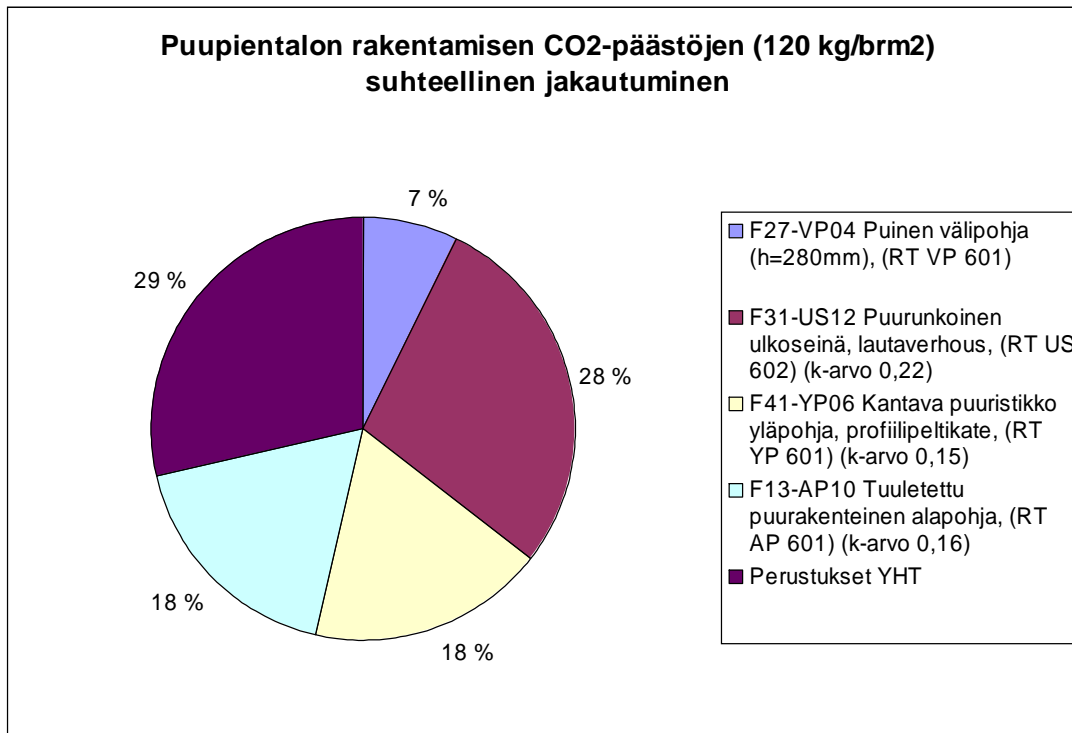
Kuva 7. Tiilirunkoisen pientalon hiilidioksidipäästöjen jakautuminen talon eri osien kesken

Vastaavat kuvat puutalosta ovat hieman erilaiset. Kuvista 8 ja 9 nähdään, että puutalon keveys ja materiaalivirtojen painottuminen bioottiseen kategoriaan korostavat perustusten merkitystä vielä

lisää verrattuna esimerkiksi tiilitaloon, jossa erittäin raskas seinärakennelma vastaa suuremmasta osasta materiaalienkulutusta. Hiilidioksidipäästöissä mikään osa rakennusta ei erotu suuresti joukosta. Puisessa pientalossa perustusten osuus abioottisessa materiaalinkulutuksessa on todella suuri, liki 90 prosenttia. Ulkoseinän osuus on vain noin kuusi prosenttia. Hiilidioksidipäästöissä puutalon perustukset ja ulkoseinä ovat yhtä suuret. Kumpikin vastaa noin kolmanneksesta hiilidioksidipäästöistä. Ylä- ja alapohja ovat niinkään yhtä suuria hiilidioksidintuottajia kahdeksantoista prosentin osuuksillaan.

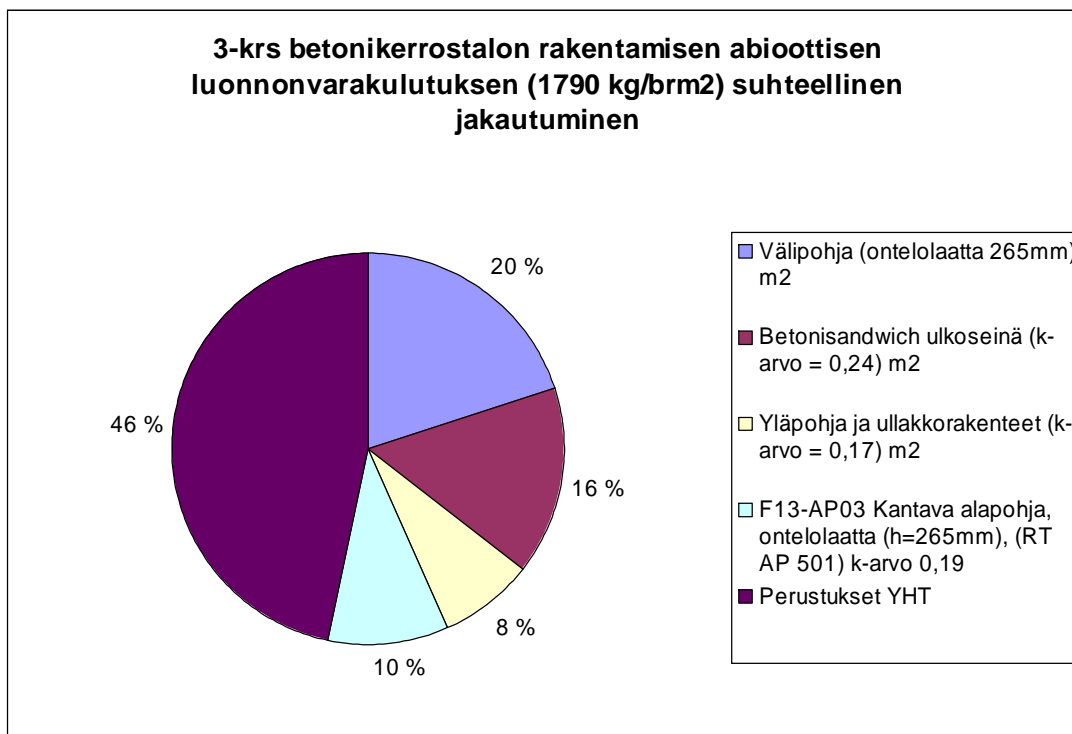


Kuva 8. Puurunkoisen pientalon rakentamisen abioottisen luonnonvarakulutuksen jakautuminen talon eri osien kesken.

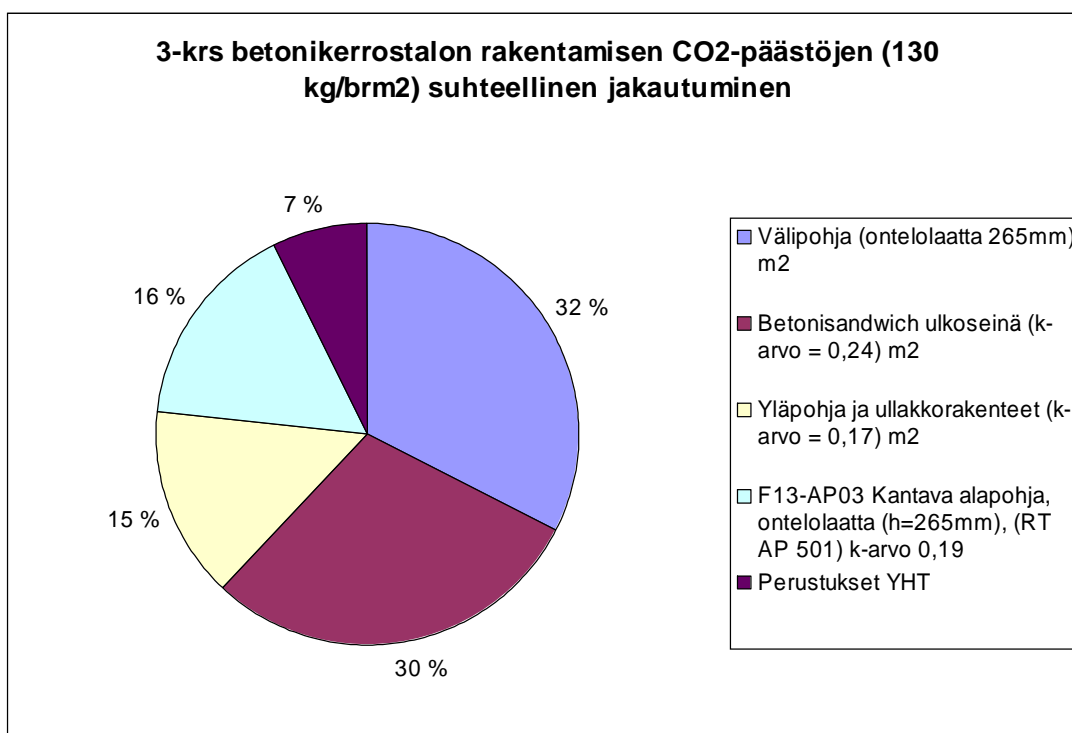


Kuva 9. Puurakenteisen pientalon rakentamisen hiilidioksidipäästöjen jakautuminen talon eri osien kesken.

Kuvat 10 ja 11 esittävät samat jakaumat kolmikerroksisella betonikerrostalolla. Hiilidioksidipäästöissä perustusten osuus on selvästi maltillisempi, välipohjaontelolaatta nousee suurimmaksi tekijäksi ulkoseinien ohi. Molemmat vastaavat noin kolmanneksesta hiilidioksidipäästöissä. Betonikerrostalon rakentamisen abioottisten luonnonvarojen kulutuksen suhteellinen jakautuminen on painotunut perustuksiin. Ne vastaavat liki puolesta koko kulutuksesta. Välipohjien suhteellinen osuus on suurempi kuin pientaloissa.



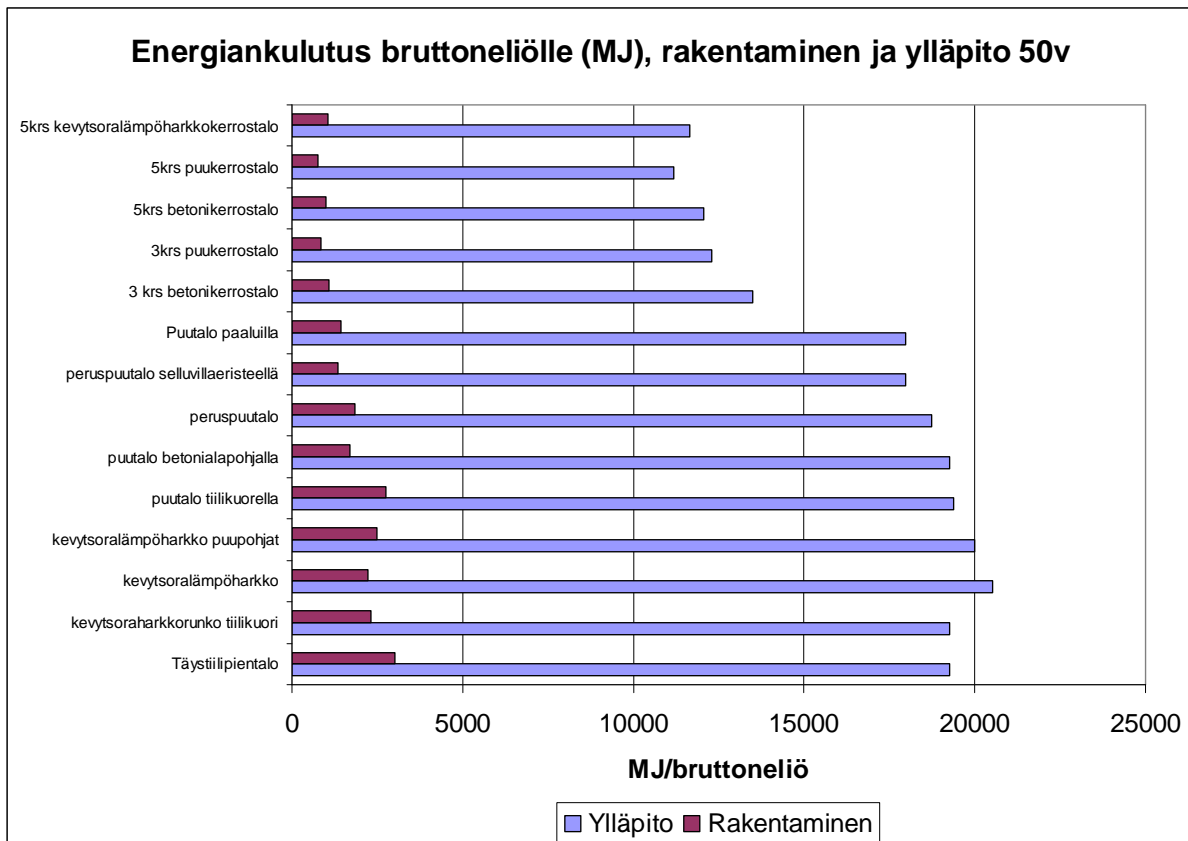
Kuva 10. Betonikerrostalon rakentamisen abioottisten luonnonvarojen kulutuksen jakautuminen talon eri osien kesken



Kuva 11. Betonikerrostalon rakentamisen hiilidioksidipäästöjen jakautuminen talon eri osien kesken.

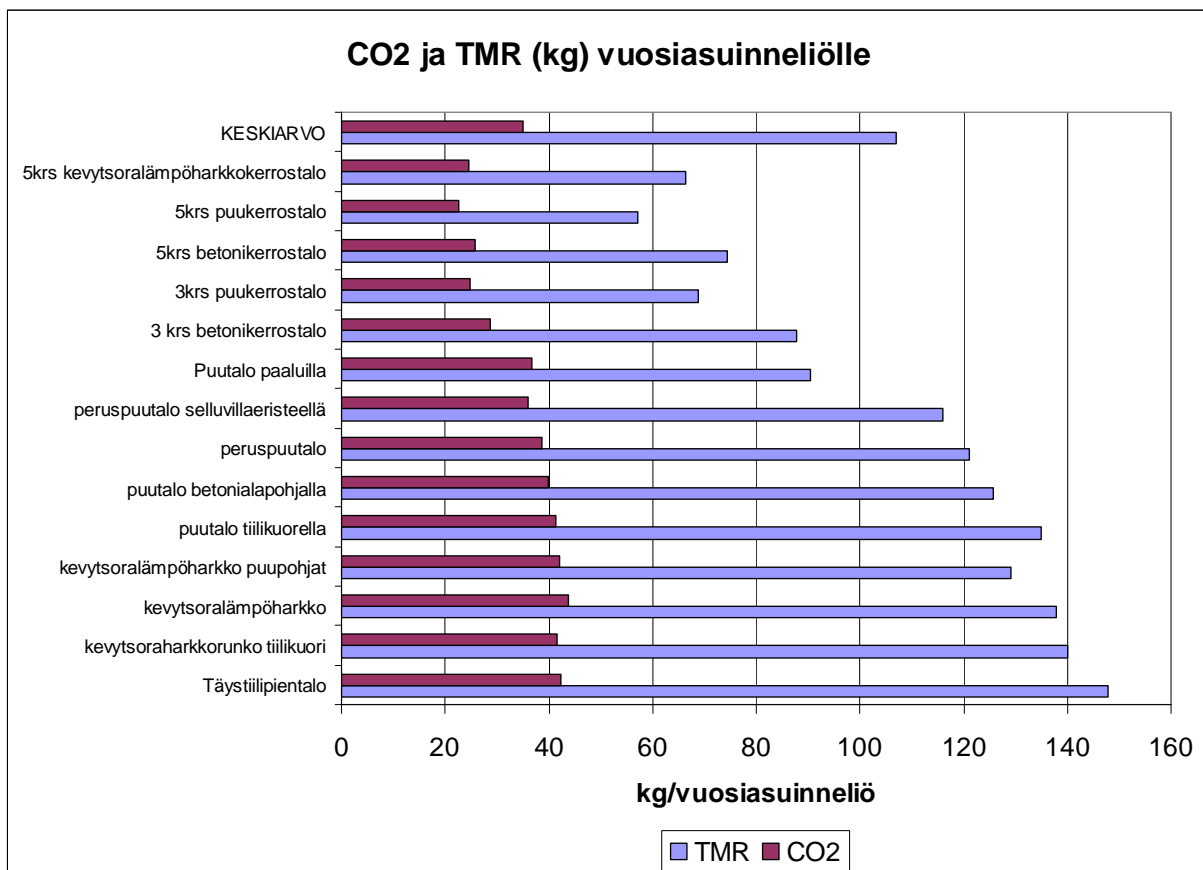
Energiankulutuksen jakautumista rakentamis- ja ylläpitovaiheelle esittää kuva 12. Ylläpidon osuus energiankulutuksesta on valtaosa. Rakentamisen osuus kokonaisenergiankulutuksessa on melko

pieni, kun tarkasteltava ajanjakso on 50 vuotta.



Kuva 12. Talojen energiankulutus rakentamis- ja ylläpidon aikaiseen jaettuina.

Kuva 13 esittää vuosiasuinneliön ympäristövaikutukset materiaalinkulutuksen ja hiilidioksidipäästöt kun tarkastelu-aika on 50 vuotta. Aiemmin esitetyn perusteella tiedetään, että hiilidioksidipylväät kuvaavat enimmäkseen ylläpidon aikaisia vaikutuksia, koska hiilidioksidipäästöt syntyvät enimmäkseen ylläpidon aikana. TMR-puolestaan jakautuu likimain puoliksi rakentamisen ja ylläpidon välillä. Sekä TMR että hiilidioksidipäästöt vuosiasuinneliötä kohden vaihtelevat melko paljon eri rakennusten välillä. TMR:n vaihtelu on suurempaa kuin hiilidioksidin. Täystiilipientalon vuosiasuinneliön TMR on noin kaksinkertainen puukerrostalon vastaavaan.



Kuva 13. Hiilidioksidipäästöt ja TMR vuosiasuinneliötä kohti laskettuna. Aika 50 v.

Ilman kulutus ja hiilidioksidintuotto on laskettu eri lähteiden perusteella. Ilman kulutus tarkoittaa poltettua happea, jota kuluu hiilidioksidin tuottamiseen. Tämän mukaan ilma- ja hiilidioksidipylväiden suhteen tulisi olla sama koko taulukon alueella. Nyt näin ei täysin ole. Syyn täytyy piillä eri lähteissä. Hiilidioksidipäästökertoimet on poimittu useista alan lähteistä, ilmankulutuksen kertoimet ovat yksinomaan Wuppertal-instituutista.

Rakentamisen jälkeen myös ylläpito kuluttaa välillisesti energiankulutuksensa kautta materiaa. Hiilidioksidipäästöt rakentamisesta ovat keskimäärin 183 kg/brm^2 . Ylläpidon energiankulutukseen liittyvät hiilidioksidipäästöt ovat keskimäärin $1\,380 \text{ kg/brm}^2$. Rakentamisen TMR on keskimäärin $2\,203 \text{ kg/brm}^2$. Ylläpito 50 vuoden ajalla kuluttaa materiaalia keskimäärin noin $2\,450 \text{ kg/brm}^2$. Tiivistettynä rakentaminen/ylläpito-suhteet ovat $183 / 1\,380$ Hiilidioksidipäästöillä ja $2\,203 / 2\,450$ TMR. Rakentamisen hiilidioksidipäästöt ovat hyvin pienet ylläpidon päästöihin verrattuna, TMR-luvut puolestaan ovat suunnilleen yhtä suuret rakentamisen ja ylläpidon välillä. MIPS-menetelmän TMR-luvut siis korostavat voimakkaasti rakennusvaihetta ylläpitoon nähden. Vasta 50 vuoden ylläpito nostaa ympäristövaikutukset samoihin lukemiin kuin rakentaminen. Hiilidioksidipäästöt vii-

denkymmenen vuoden ajalta ovat puolestaan seitsenkertaiset rakentamisen synnyttämiin nähden. Energiassa ero on vielä suurempi.

5.3 Rakennusten muuntelun vaikutus tuloksiin

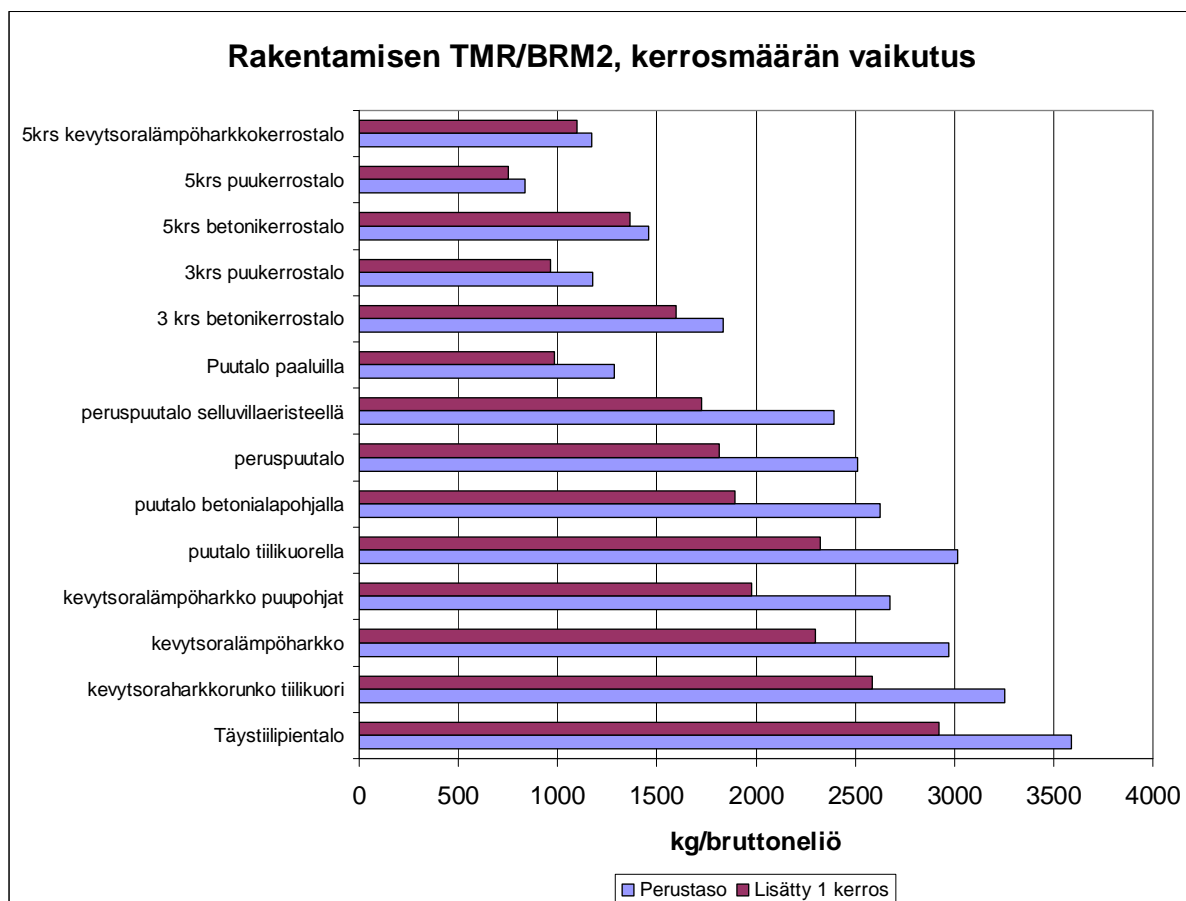
Tässä alaluvussa tarkastellaan, miten eri tekijät vaikuttavat edellisessä luvussa esitettyihin tuloksiin. Kyseessä on eräänlainen herkkyystarkastelu. Herkkyystarkastelua tehdään kerrosmäärän, perustamissyvyyden, kerroskorkeuden, ikkuna-pinta-alan, paalutuksen ja ylläpitoajan sekä ikkunoiden eristävyys osalta. Lopuksi summataan materiaalitehokkuuden parantamistoimia.

5.3.1 Kerrosmäärän vaikutus

Kun taloihin lisätään yksi kerros, laskevat kaikki ympäristövaikutukset bruttoneliötä kohti (taulukko 14 ja kuva 14), vaikka absoluuttiset vaikutukset luonnollisesti kasvavatkin. Suurin tekijä on perustusten osuuden pieneneminen. TMR laskee sitä vähemmän, mitä raskaampia ovat seinien ja välipohjan materiaalit. Viisikerroksisten betoni- ja kevytsoraharkkotalojen materiaalinkulutukset laskevat vain noin viisi prosenttia, eniten laskevat puurakenteisten pientalojen arvot, koska perustusten suhteellinen osuus pienenee kolmanneksen. Niissä pudotus on lähes kolmenkymmenen prosentin luokkaa. Keskimääräinen pudotus TMR:ssä on noin 20%.

Taulukko 14. Kerrosmäärän vaikutus rakentamisaikaisiin ympäristövaikutuksiin bruttoneliötä kohden laskettuna

	TMR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO ₂ kg	Uusiutuva E MJ	Uusiutumaton E MJ
Täystiilipientalo	2 920	2 890	30	6 970	100	210	380	2 460
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	2 580	2 550	30	6 900	80	190	170	1 940
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	2 300	2 270	30	11 020	90	180	100	1 930
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	1 980	1 850	130	10 320	90	150	340	1 950
Puutalo, tiiliverhoilu	2 330	2 160	170	5 490	110	160	470	2 080
Puutalo, alapohja betonia	1 890	1 710	180	4 190	90	110	340	1 210
Peruspuutalo	1 810	1 590	230	4 120	100	100	360	1 290
Peruspuutalo, selluvillaeriste	1 720	1 500	230	3 430	50	60	480	780
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	980	760	230	4 020	60	80	480	840
3 krs betonikerrostalo	1 600	1 560	40	3 870	60	120	80	950
3krs puukerrostalo	970	770	190	2 120	50	50	110	690
5krs betonikerrostalo	1 360	1 330	30	3 640	50	120	70	890
5krs puukerrostalo	750	570	190	1 920	50	50	100	640
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	1 100	1 050	50	5 290	50	100	70	970
KESKIARVO	1 736	1 612	124	5 235	74	118	254	1 329

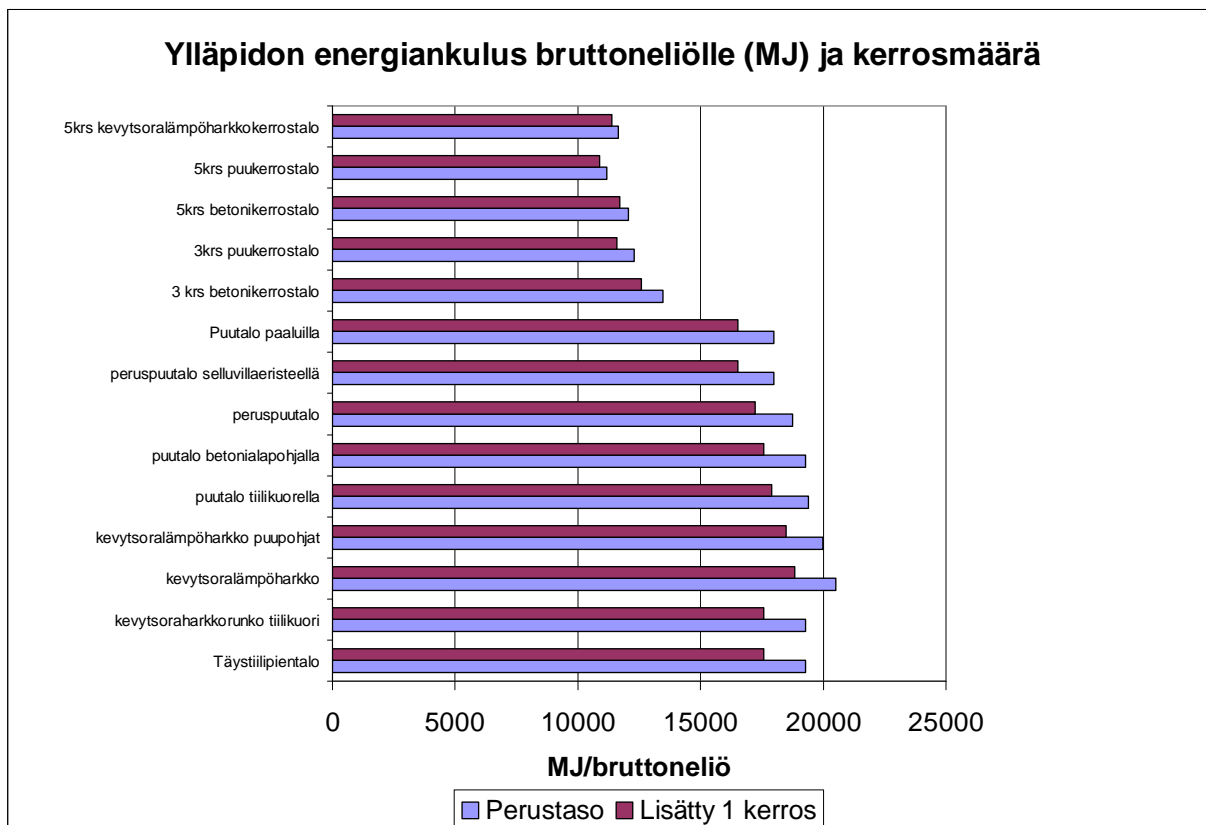


Kuva 14. Kerrosmäärän vaikutus rakentamisaikaiseen materiaalinkulutukseen bruttoneliötä kohti laskettuna

Myös bruttoneliölle laskettu energiankulutus pienenee kerrosmäärän kasvaessa (taulukko 15). Yhden kerroksen lisääminen pienentää suhteellista ulkovaippaa, jolloin bruttoneliötä kohti laskettu energiankulutus pienenee. Keskimäärin lasku on seitsemän prosenttia. Rakennuksen kokonaisenergiankulutus puolestaan lisääntyy ulkovaipan pinta-alan kasvaessa.

Lisäkerros tuo pienennystä vuosiasuinneliön ympäristövaikutuksiin (taulukko 16). Pientalon kohdalla suhteellinen pieneminen on suurempaa kuin kerrostaloilla, joissa jo ennestään on enemmän kerroksia.

Hiilidioksidipäästöt ja energiankulutus (kuva 14) rakentamisajalta laskevat kymmenisen prosenttia. Samoin ne laskevat ylläpidon ajalta koska lämpöä lävitseen laskevaa yläpohjaa kohti laskettua rakennusala on enemmän. Lisäkerrokset laskevat kaikkia lukuja sitä enemmän, mitä vähemmän talossa alun perin on kerroksia.



Kuva 15. Kerrosmäärän vaikutus ylläpidon aikaiseen energiankulutukseen bruttoneliötä kohti laskettuna.

Taulukko 15. Kerrosmäärän vaikutus ylläpidon aikaisiin ympäristövaikutuksiin bruttoneliötä kohti laskettuna

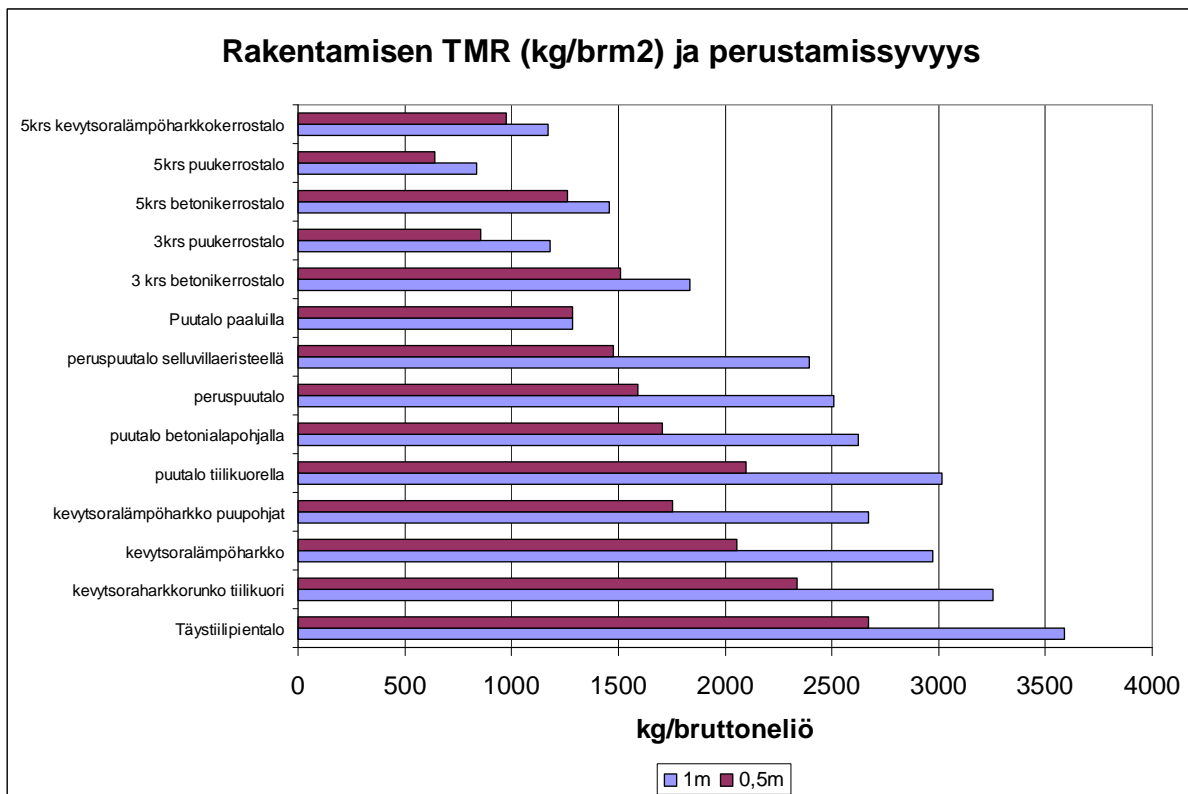
	Energia MJ	CO ₂ kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Sadevesi kg
Täystiilipientalo	17 590	1 470	2 590	0	924 600	1 070	8 330
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	17 590	1 470	2 590	0	924 600	1 070	8 330
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	18 840	1 570	2 770	0	990 540	1 150	8 330
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	18 490	1 540	2 720	0	972 140	1 130	8 330
Puutalo, tiiliverhoilu	17 890	1 490	2 630	0	940 740	1 090	8 330
Puutalo, alapohja betonia	17 590	1 470	2 590	0	924 600	1 070	8 330
Peruspuutalo	17 240	1 440	2 540	0	906 200	1 050	8 330
Peruspuutalo, selluvillaeriste	16 510	1 380	2 430	0	868 150	1 010	8 330
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	16 510	1 380	2 430	0	868 150	1 010	8 330
3 krs betonikerrostalo	12 590	1 050	1 850	0	662 130	770	6 250
3krs puukerrostalo	11 590	970	1 710	0	609 220	710	6 250
5krs betonikerrostalo	11 710	980	1 720	0	615 450	720	4 170
5krs puukerrostalo	10 890	910	1 600	0	572 630	670	4 170
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	11 380	950	1 680	0	598 370	700	4 170
KESKIARVO	15 458	1 288	2 276	0	812 680	945	7 143

Taulukko 16. Kerrosmäärän vaikutus vuosiasuinneliötä kohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

	TMR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg
Täystiilipientalo	127	126	1	21 426	27	470	39
Kevytsoharkkorunko tiiliverhoilu	119	118	1	21 424	27	453	38
Kevytsohalkpöharkko, betonipohjat	117	116	1	23 036	28	480	40
Kevytsohalkpöharkko, puupohjat	108	105	3	22 597	28	478	39
Puutalo, tiiliverhoilu	114	110	4	21 763	28	470	38
Puutalo, alapohja betonia	103	99	4	21 362	27	440	36
Peruspuutalo	100	95	5	20 937	27	434	35
Peruspuutalo, selluvillaeriste	96	90	5	20 046	24	409	33
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	79	73	5	20 060	25	410	33
3 krs betonikerrostalo	79	79	1	15 318	19	313	27
3krs puukerrostalo	61	57	4	14 061	17	285	23
5krs betonikerrostalo	71	70	1	14 239	18	291	25
5krs puukerrostalo	54	50	4	13 215	16	268	22
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	64	63	1	13 884	17	286	24
KESKIARVO	92	89	3	18 812	23	392	32

5.3.2 Perustamissyvyyden vaikutus

Kaivutyöt vaikuttavat suuresti materiaaliavirtoihin. Perustamissyvyyden pienentäminen yhdestä metristä puoleen metriin näkyy selvästi rakentamisen TMR-luvussa (taulukko 10). Kevyen puupientalon kohdalla lasku verrattuna peruslaskelmien yhden metrin maansiirtoihin on kolmanneksen luokkaa, selluvillaeristetyllä puutalolla jopa hieman enemmän. Kerrostaloilla vaikutus ei ole aivan yhtä suuri, koska kaivutöitä on alunperinkin tehty vähemmän neliöihin suhteutettuna. Asiaa selventää kuva 16. Ylläpidon aikaisissa vaikutuksissa perustamissyvyydellä ei ole merkitystä (taulukko 21).



Kuva 16. Perustamissyvyyden vaikutus rakentamisaikaiseen luonnonvarakulutukseen bruttoneliötä kohti laskettuna

Rakennuspaikan valinta on avainasemassa, kun maamassoja halutaan siirtää mahdollisimman vähän. Vuosiasuinneliötä kohden laskettunakin perustamissyvyyden vaikutus luonnonvarakulutukseen on suurehko, keskimäärin kymmenisen prosenttia. Erilaisten perustustapojen vertailu keskenään on tehty luvussa 5.1.

Taulukko 18. Perustamissyvyyden vaikutus rakentamisaikaisiin ympäristövaikutuksiin bruttoneliötä kohti laskettuna

	TMIR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg	TMIR kg
Täystiilipientalo	2 670	2 630	40	7 290	100	220	380	2 550
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	2 340	2 300	40	7 220	90	200	180	2 030
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	2 050	2 010	40	11 320	100	180	110	2 020
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	1 760	1 610	150	10 740	110	160	310	2 090
Puutalo, tiiliverhoilu	2 100	1 910	190	5 950	130	170	430	2 220
Puutalo, alapohja betonia	1 710	1 530	180	4 680	100	120	290	1 320
Peruspuutalo	1 590	1 350	240	4 580	110	110	330	1 430
Peruspuutalo, selluvillaeriste	1 480	1 230	250	3 640	50	60	450	810
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	1 280	1 030	250	4 920	70	100	460	990
3 krs betonikerrostalo	1 510	1 460	50	4 100	60	130	80	1 010
3krs puukerrostalo	850	650	200	2 310	60	60	120	740
5krs betonikerrostalo	1 260	1 230	30	3 730	60	120	70	910
5krs puukerrostalo	640	450	190	2 000	50	50	110	660
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	980	920	50	5 320	50	100	70	980
KESKIVARVO	1 588	1 452	136	5 557	81	126	242	1 411

Taulukko 19. Perustamissyvyyden vaikutus ylläpidonaikaisiin ympäristövaikutuksiin bruttoneliölle laskettuna.

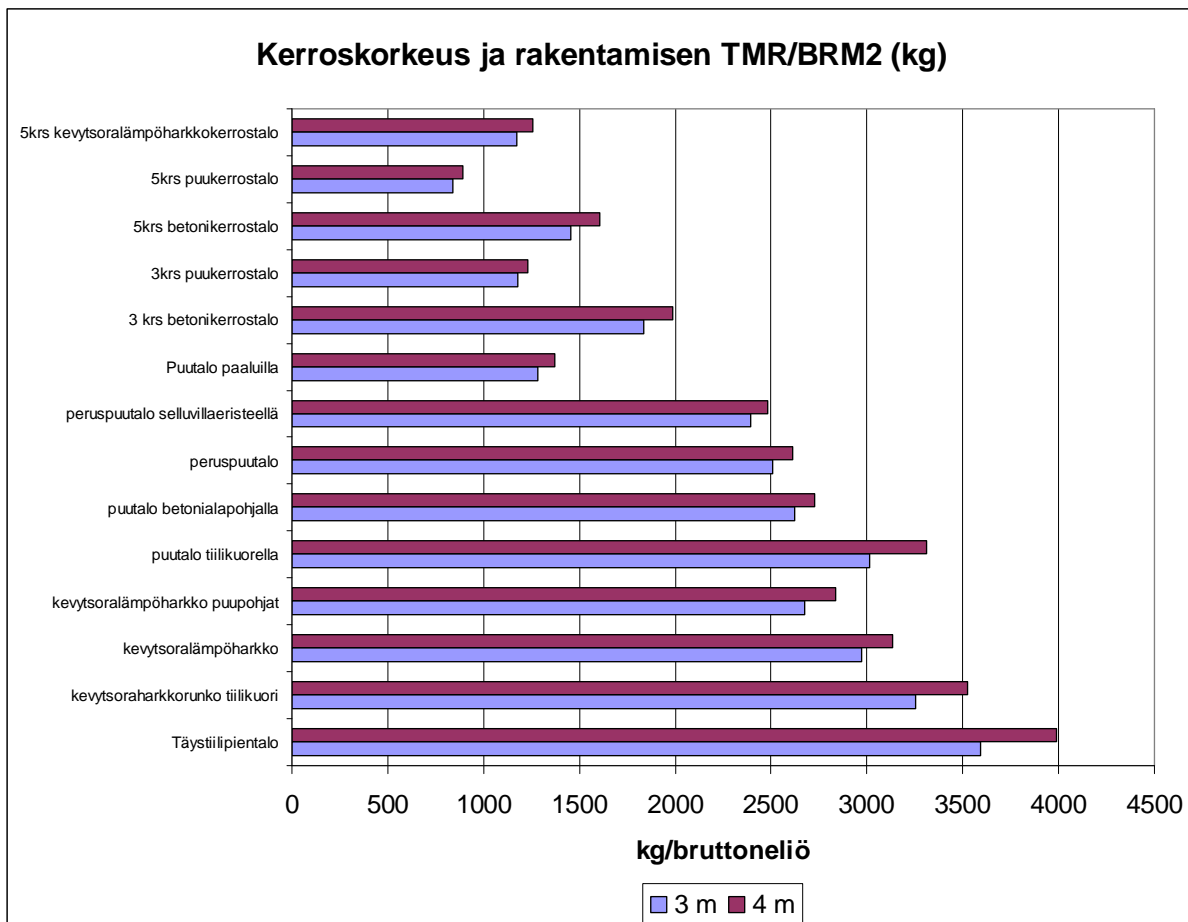
	Energia MJ	CO ₂ kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Sadevesi kg
Täystiilipientalo	19 270	1 610	2 840	0	1 012 840	1 180	12 500
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	19 270	1 610	2 840	0	1 012 840	1 180	12 500
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	20 510	1 710	3 020	0	1 078 310	1 250	12 500
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	19 990	1 670	2 940	0	1 050 710	1 220	12 500
Puutalo, tiiliverhoilu	19 390	1 620	2 860	0	1 019 530	1 190	12 500
Puutalo, alapohja betonia	19 270	1 610	2 840	0	1 012 840	1 180	12 500
Peruspuutalo	18 740	1 560	2 760	0	985 240	1 150	12 500
Peruspuutalo, selluvillaeriste	17 990	1 500	2 650	0	945 680	1 100	12 500
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	17 990	1 500	2 650	0	945 680	1 100	12 500
3 krs betonikerrostalo	13 480	1 120	1 980	0	708 810	820	8 330
3krs puukerrostalo	12 280	1 020	1 810	0	645 810	750	8 330
5krs betonikerrostalo	12 060	1 010	1 780	0	634 120	740	5 000
5krs puukerrostalo	11 170	930	1 640	0	587 270	680	5 000
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	11 660	970	1 720	0	612 880	710	5 000
KESKIARVO	16 647	1 387	2 451	0	875 181	1 017	10 298

Taulukko 20. Perustamissyvyyden vaikutus rakentamisaikaisiin ympäristövaikutuksiin bruttoneliötä kohden laskettuna

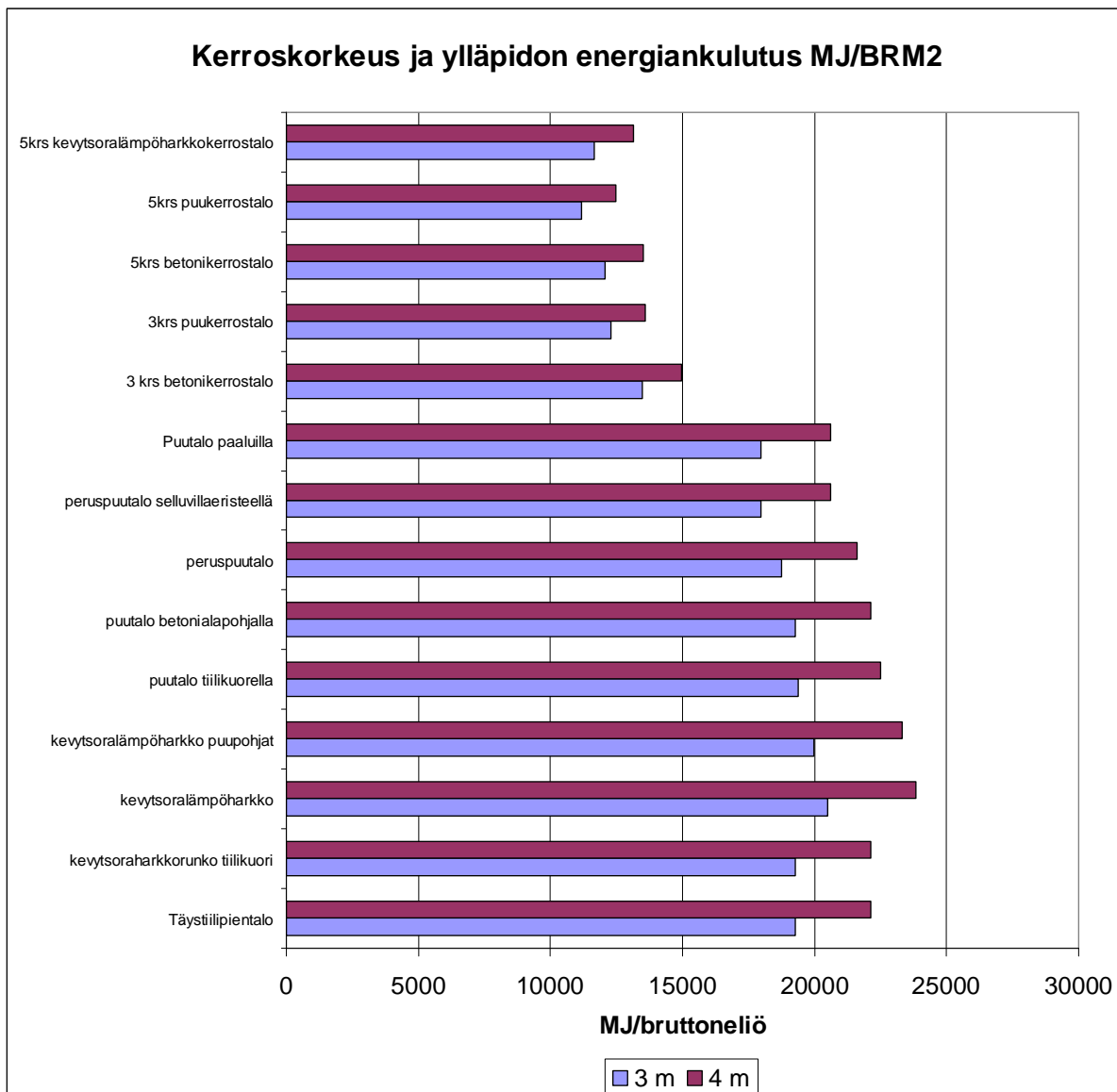
	TMIR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg
Täystiilipientalo	127	126	1	23 463	29	511	42
Kevytsoharkkorunko tiiliverhoilu	119	118	1	23 461	29	494	41
Kevytsohalämpöharkko, betonipohjat	117	116	1	25 061	31	521	44
Kevytsohalämpöharkko, puupohjat	108	105	3	24 413	31	515	42
Puutalo, tiiliverhoilu	114	110	4	23 586	30	507	41
Puutalo, alapohja betonia	105	100	4	23 403	29	480	40
Peruspuutalo	100	94	6	22 766	29	471	39
Peruspuutalo, selluvillaeriste	95	89	6	21 834	26	443	36
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	90	85	6	21 864	27	447	37
3 krs betonikerrostalo	80	79	1	16 397	20	335	29
3krs puukerrostalo	61	57	5	14 907	19	302	25
5krs betonikerrostalo	70	69	1	14 671	18	300	26
5krs puukerrostalo	53	48	4	13 553	17	275	23
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	62	61	1	14 219	18	292	25
KESKIARVO	93	90	3	20 257	25	421	35

5.3.3 Kerroshorkeuden vaikutus

Kerroshorkeuden nostaminen kolmesta neljään metriin näkyy kaikissa vaikutuskategorioissa pie-
nehkönä kasvuna. Rakentamisaikaisissa vaikutuksissa se tuntuu kasvaneena kokonaismateriaali-
menekkinä seinien osalta. Kasvu on neljästä kymmeneen prosenttia ja sitä suurempaa mitä paina-
vampaa materiaalia seinät ovat. Ylläpidon aikaisissa vaikutuksissa kasvanut seinäpinta-ala näkyy
lisääntyneenä energiankulutuksena ja sitä kautta se näkyy kaikissa vaikutusluokissa. Muutokset
ovat noin kymmenen prosentin luokkaa (Kuvat 17 ja 18).



Kuva 17. Kerroskorkeuden vaikutus rakentamisaikaiseen materiaalinkutukseen



Kuva 18. Kerroskorkeuden vaikutus ylläpidon energiankulutukseen

Suurempi kerroskorkeus nostaa bruttoneliötä kohden laskettua kokonaismateriaalinkulutusta hieman. Vaikutus on sitä suurempi, mitä suurempi on seinän osuus rakennuksen TMR:ssa. Rakentamisen ajalta vaikutukset on kuvattu taulukkoon 21.

Johdonmukaisesti suurempi seinäpinta-ala näkyy myös vuosiasuinneliötä kohti lasketuissa luvuissa. Tarpeettoman suuri kerroskorkeus tuhlaa materiaa ja energiaa. Kasvanut kerroskorkeus ja seinäpinta-ala nostaa energiankulutusta bruttoneliötä kohti. Lisäys on keskimäärin neljätoista prosenttia (Taulukko 22). Muutos näkyy tietenkin myös vuosiasuinneliötä kohti lasketuissa luvuissa (taulukko 23)

Taulukko 21. Kerrokorkeuden vaikutus rakentamisaikaisiin bruttoneliötä kohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

	TMR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO ₂ kg	Uusiutuva E MJ	Uusiutumaton E MJ
Täystiilipientalo	3 990	3 950	40	9 090	130	280	510	3 280
Kevytsoharkkorunko tiiliverhoilu	3 520	3 480	40	8 990	110	240	220	2 580
Kevytsohalköpharkko, betonipohjat	3 140	3 090	40	14 620	110	220	130	2 550
Kevytsohalköpharkko, puupohjat	2 840	2 690	150	14 040	130	200	330	2 620
Puutalo, tiiliverhoilu	3 310	3 110	200	7 450	150	220	500	2 800
Puutalo, alapohja betonia	2 730	2 520	210	5 680	120	140	320	1 610
Peruspuutalo	2 610	2 330	280	5 570	130	140	360	1 720
Peruspuutalo, selluvillaeriste	2 480	2 200	290	4 560	60	80	520	1 000
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	1 370	1 090	290	5 440	80	100	520	1 090
3 krs betonikerrostalo	1 980	1 940	50	4 680	70	150	90	1 170
3krs puukerrostalo	1 230	1 010	220	2 610	60	60	130	840
5krs betonikerrostalo	1 610	1 570	30	4 310	70	140	80	1 080
5krs puukerrostalo	890	680	210	2 290	60	60	120	770
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	1 260	1 200	50	6 710	60	110	80	1 200
KESKIARVO	2 354	2 203	151	6 861	96	153	281	1 737

Taulukko 22. Kerrokorkeuden vaikutus ylläpidon aikaisiin bruttoneliötä kohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

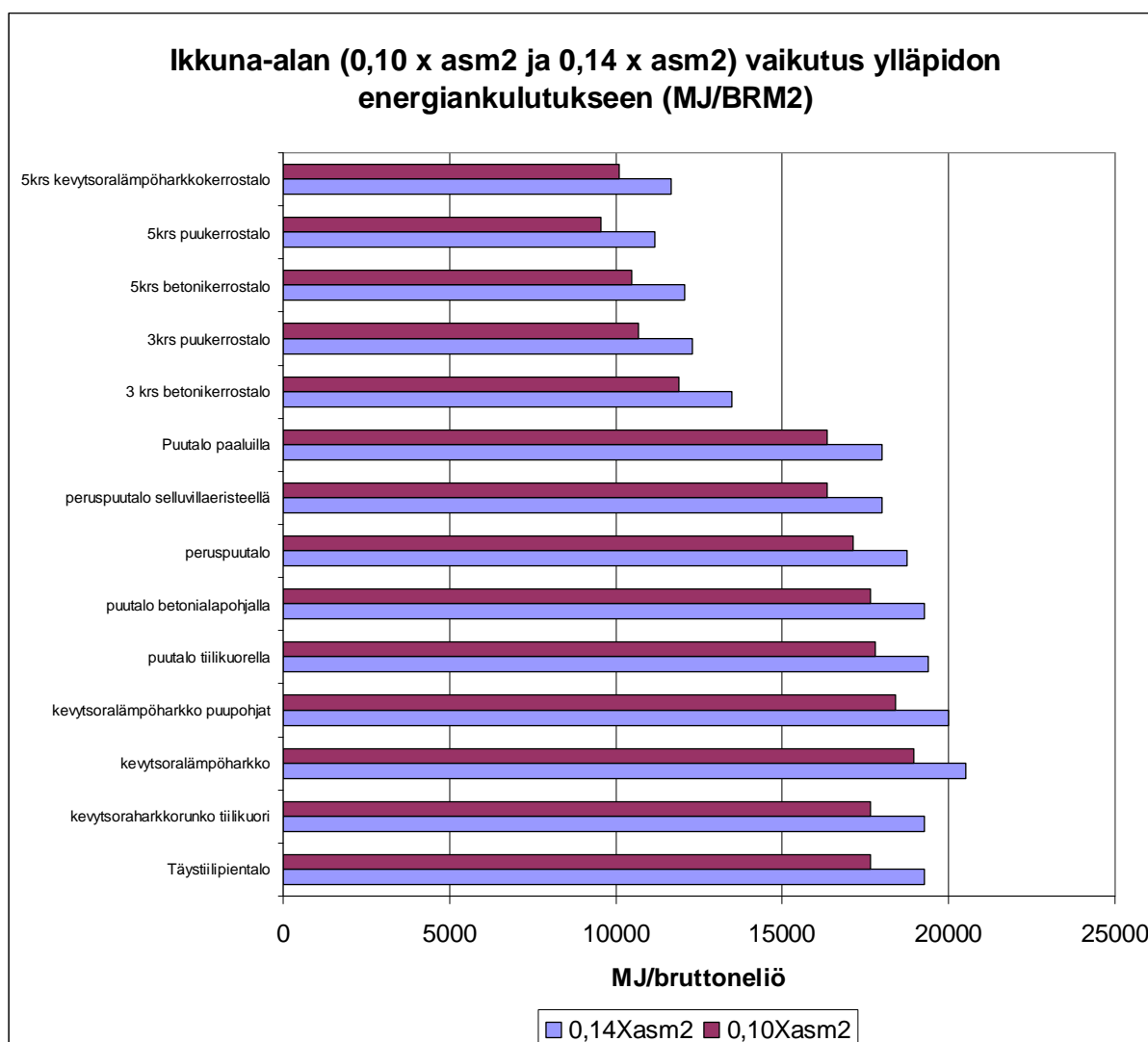
	Energia MJ	CO ₂ kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Sadevesi kg
Täystiilipientalo	22 130	1 840	3 260	0	1 163 540	1 350	12 500
Kevytsoharkkorunko tiiliverhoilu	22 130	1 840	3 260	0	1 163 540	1 350	12 500
Kevytsohalkämpöharkko, betonipohjat	23 840	1 990	3 510	0	1 253 550	1 460	12 500
Kevytsohalkämpöharkko, puupohjat	23 320	1 940	3 430	0	1 225 950	1 430	12 500
Puutalo, tiiliverhoilu	22 500	1 880	3 310	0	1 183 090	1 380	12 500
Puutalo, alapohja betonia	22 130	1 840	3 260	0	1 163 540	1 350	12 500
Peruspuutalo	21 610	1 800	3 180	0	1 135 940	1 320	12 500
Peruspuutalo, selluvillaeriste	20 610	1 720	3 030	0	1 083 540	1 260	12 500
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	20 610	1 720	3 030	0	1 083 540	1 260	12 500
3 krs betonikerrostalo	14 950	1 250	2 200	0	786 090	910	8 330
3krs puukerrostalo	13 570	1 130	2 000	0	713 630	830	8 330
5krs betonikerrostalo	13 530	1 130	1 990	0	711 400	830	5 000
5krs puukerrostalo	12 460	1 040	1 830	0	655 090	760	5 000
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	13 160	1 100	1 940	0	691 730	800	5 000
KESKIARVO	19 041	1 587	2 803	0	1 001 012	1 164	10 298

Taulukko 23. Kerrokorkeuden vaikutus vuosiasuinneliötä kohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

	TMIR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg
Täystiilipientalo	167	166	1	26 971	34	596	49
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	156	155	1	26 968	34	573	48
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	153	152	1	29 168	36	610	51
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	144	141	3	28 520	36	604	49
Puutalo, tiiliverhoilu	152	148	5	27 382	35	594	48
Puutalo, alapohja betonia	138	133	5	26 892	34	554	46
Peruspuutalo	133	127	6	26 255	33	545	45
Peruspuutalo, selluvillaeriste	127	120	7	25 026	30	509	41
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	101	95	7	25 047	31	511	42
3 krs betonikerrostalo	96	95	1	18 188	23	373	32
3krs puukerrostalo	74	69	5	16 473	21	335	27
5krs betonikerrostalo	83	82	1	16 461	21	338	29
5krs puukerrostalo	63	58	5	15 120	19	307	25
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	73	72	1	16 064	20	332	28
KESKIARVO	119	115	3	23 181	29	484	40

5.3.4 Ikkuna-alan vaikutus

Perustapauksissa ikkuna-ala on 0,14 x asuineliöiden määrä. Tässä tarkastelussa ikkuna-alaa pienennetään kokoon 0,10 x asuineliöiden määrä. Ikkuna-alan pienentäminen lisää rakentamisaikaista materiaalienekkiä hieman, koska seinää tarvitaan enemmän (Taulukko 24). Ylläpidon aikaisessa energiankulutuksessa vaikutus on merkittävämpi (Taulukko 25): energiankulutus vähenee noin kymmenen prosenttia. Tämä näkyy selvästi kuvassa 19 ja vuosiasuineliötaulukossa (Taulukko 26). Pienempi ikkuna-ala tarkoittaa pienempää energiankulutusta, koska äärimmäisen hyvinkin eristävä ikkuna päästää lävitseen paljon enemmän energiaa kuin esimerkiksi seinä. Toisaalta seinä ei ikkunan tavoin päästä lävitseen myöskään auringonvaloa, joka sisällä pintoihin osuessaan muuttuu lämpöenergiaksi. Laskuissa ei ole huomioitu tätä auringosta ilmaiseksi saatavaa lämpöenergiaa.



Kuva 19. Ikkuna-alan vaikutus ylläpidon aikaiseen energiankulutukseen

Taulukko 24. Ikkuna-alan vaikutus rakentamisen bruttoneliötä kohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

	TMR kg	Abiootinen kg	Biootinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO ₂ kg	Usiutuva E MJ	Usiutumaton E MJ
Täystiilipientalo	3 620	3 580	40	7 770	110	230	400	2 680
Kevytsoharkkorunko tiiliverhoilu	3 270	3 230	40	7 690	90	210	180	2 150
Kevytsohalkpöharkko, betonipohjat	2 980	2 940	40	11 910	100	190	120	2 130
Kevytsohalkpöharkko, puupohjat	2 680	2 530	150	11 330	110	170	310	2 200
Puutalo, tiiliverhoilu	3 030	2 850	190	6 400	130	180	440	2 340
Puutalo, alapohja betonia	2 630	2 450	180	5 100	100	130	300	1 420
Peruspuutalo	2 510	2 270	250	4 990	120	120	330	1 530
Peruspuutalo, selluvillaeriste	2 400	2 150	250	4 040	50	70	460	900
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	1 290	1 040	250	4 930	70	100	460	990
3 krs betonikerrostalo	1 850	1 810	50	4 150	60	130	80	1 020
3krs puukerrostalo	1 180	980	200	2 320	60	60	120	740
5krs betonikerrostalo	1 470	1 440	30	3 780	60	120	70	930
5krs puukerrostalo	840	650	190	2 010	50	50	110	670
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	1 180	1 130	50	5 510	50	100	70	1 010
KESKIARVO	2 209	2 074	135	5 852	82	133	248	1 478

Taulukko 25. Ikkuna-alan vaikutus ylläpidon ajalta bruttoneliötä kohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

	Energia MJ	CO ₂ kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	sadeVesi kg
Täystiilipientalo	17 660	1 470	2 600	0	928 260	1 080	12 500
Kevytsoharkkorunko tiiliverhoilu	17 660	1 470	2 600	0	928 260	1 080	12 500
Kevytsohalkämpöharkko, betonipohjat	18 940	1 580	2 790	0	995 650	1 160	12 500
Kevytsohalkämpöharkko, puupohjat	18 410	1 530	2 710	0	968 050	1 130	12 500
Puutalo, tiiliverhoilu	17 800	1 480	2 620	0	935 960	1 090	12 500
Puutalo, alapohja betonia	17 660	1 470	2 600	0	928 260	1 080	12 500
Peruspuutalo	17 130	1 430	2 520	0	900 660	1 050	12 500
Peruspuutalo, selluvillaeriste	16 360	1 360	2 410	0	860 110	1 000	12 500
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	16 360	1 360	2 410	0	860 110	1 000	12 500
3 krs betonikerrostalo	11 910	990	1 750	0	625 880	730	8 330
3krs puukerrostalo	10 680	890	1 570	0	561 240	650	8 330
5krs betonikerrostalo	10 480	870	1 540	0	551 190	640	5 000
5krs puukerrostalo	9 560	800	1 410	0	502 700	580	5 000
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	10 090	840	1 480	0	530 220	620	5 000
KESKIARVO	15 049	1 254	2 216	0	791 183	920	10 298

Taulukko 26. Ikkuna-alan vaikutus vuosiasuinneliötä kohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

	TMIR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg
Täystiilipientalo	143	142	1	21 529	27	477	39
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	135	134	1	21 527	27	460	39
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	133	132	1	23 174	29	487	41
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	124	121	3	22 526	28	481	39
Puutalo, tiiliverhoilu	130	126	4	21 674	28	473	38
Puutalo, alapohja betonia	120	116	4	21 467	27	446	37
Peruspuutalo	116	110	6	20 830	27	437	36
Peruspuutalo, selluvillaeriste	111	105	6	19 875	24	407	33
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	85	79	6	19 896	25	410	34
3 krs betonikerrostalo	83	82	1	14 491	18	299	26
3krs puukerrostalo	63	59	5	12 962	16	265	22
5krs betonikerrostalo	69	69	1	12 764	16	264	23
5krs puukerrostalo	52	47	4	11 608	15	238	19
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	61	60	1	12 322	15	257	22
KESKIARVO	102	99	3	18 332	23	386	32

5.3.5 Paalutuksen vaikutus

Perustarkastelun taloja ei ole paaluperustettu. Paalutuksen poisjättäminen vaatii hyvin kantavaa maaperää. Heikosti kantavalle maalle rakennettaessa riittävän tukeva perustus saadaan ulottamalla tukipaalut kantaviin maakerroksiin asti. Syvälle kantavaan maaperään ulottuvat paalut varmistavat, ettei rakennus pääse painumaan. Paaluja on pääasiassa kolmea tyyppiä, puisia, teräksisiä ja teräsbetonisia. Puupaaluja voidaan käyttää märässä maassa. Teräspaalut painetaan maahan minkä jälkeen ne valetaan täyteen betonia. Teräsbetonipaalut ovat teräsvahvistettuja betonipaaluja. Tässä luvussa tarkastellaan paalutuksen vaikutusta luonnonvarojen kulutukseen ja päästöihin. Paaluiksi on valittu teräsbetonipaalut ja paalutussyvyudeksi kuusi metriä.

Teräsbetonipaalutuksen vaikutus TMR-lukuihin rakennusvaiheessa on noin viidestä kymmeneen prosentin luokkaa kasvattava (Taulukot 27 ja 28). Pientaloilla se on suhteessa suurempi. Ylläpidon-aikaisiin ympäristövaikutuksiin paalutuksella ei ole vaikutusta. Siksi tässä esitetään vain vaikutukset rakentamisen luonnonvarojen ja energian kulutukseen sekä hiilidioksidipäästöihin. Vuosiasuin-neliötä kohti laskettuna paalutuksen vaikutus on pieni, vain joitain prosentteja. Paalutussyvyys on kuusi metriä. Se tarkoittaa, että teräsbetonipaalujen alin kohta on kuusi metriä anturoiden alinta kohtaa syvemmällä.

Taulukko 27. Paalutuksen (syvyys 6 metriä) vaikutus rakentamisaikaisiin bruttoneliötä kohti laskettuihin vaikutuksiin

	TMIR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO ₂ kg	Uusitun E MJ	Uusiutumaton E MJ
Täystiilipientalo	3 940	3 900	40	9 160	120	270	410	2 890
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	3 600	3 560	40	9 080	110	240	200	2 380
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	3 320	3 280	40	13 180	110	230	130	2 360
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	3 020	2 870	150	12 600	130	210	330	2 430
Puutalo, tiiliverhoilu	3 360	3 180	190	7 810	140	220	460	2 560
Puutalo, alapohja betonia	2 970	2 800	180	6 550	120	170	320	1 660
Peruspuutalo	2 860	2 610	240	6 440	130	160	350	1 770
Peruspuutalo, selluvillaeriste	2 740	2 490	250	5 500	70	110	470	1 150
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	1 280	1 030	250	4 920	70	100	460	990
3 krs betonikerrostalo	1 970	1 920	50	4 660	70	140	90	1 100
3krs puukerrostalo	1 310	1 110	200	2 870	60	70	130	840
5krs betonikerrostalo	1 540	1 500	30	4 070	60	130	70	970
5krs puukerrostalo	920	730	190	2 340	50	60	110	720
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	1 250	1 200	50	5 660	60	110	80	1 040
KESKIARVO	2 435	2 299	136	6 775	93	158	258	1 633

Taulukko 28. Paalutuksen (syvyys 6 metriä) vaikutus vuosiasuinneliötä kohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

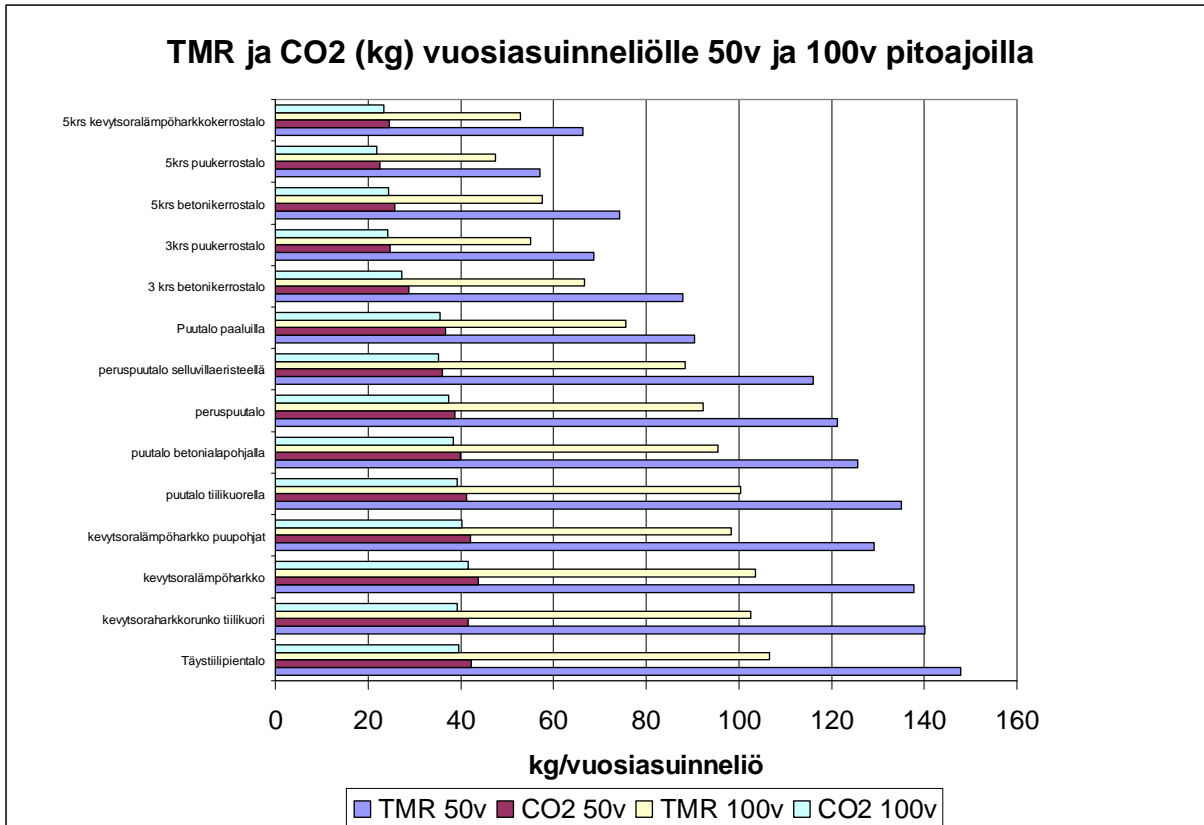
	TMR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg
Täystiilipientalo	156	155	1	23 506	30	519	43
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	148	147	1	23 504	30	502	43
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	146	145	1	25 104	31	529	45
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	137	134	3	24 456	31	523	43
Puutalo, tiiliverhoilu	143	139	4	23 629	31	515	42
Puutalo, alapohja betonia	134	130	4	23 446	30	489	41
Peruspuutalo	129	124	6	22 809	29	480	40
Peruspuutalo, selluvillaeriste	124	118	6	21 877	27	451	37
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	90	85	6	21 864	27	447	37
3 krs betonikerrostalo	91	90	1	16 410	20	338	29
3krs puukerrostalo	72	67	5	14 920	19	305	25
5krs betonikerrostalo	76	75	1	14 678	18	301	26
5krs puukerrostalo	59	55	4	13 561	17	276	23
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	68	67	1	14 226	18	294	25
KESKIARVO	112	109	3	20 285	26	426	36

5.3.6 Ylläpitoajan vaikutus

Ylläpitoajan eli rakennuksen käyttöajan kaksinkertaistaminen viidestäkymmenestä sataan vuoteen ei vaikuta rakentamisaikaisiin kokonaislukuihin. Ylläpidon energiankulutus kaksinkertaistuu (Taulukko 29). Lisäksi talot vaatisivat jo varmasti joitain suurempia korjauksia, joita tässä ei ole kuitenkaan huomioitu. Vuosiasuinneliötä kohden rakentamisen vaikutukset pienenevät käyttöajan kaksinkertaistuessa, koska rakentamisen materiaalien ja osien käyttöikä kasvaa useammalle käyttövuosille (Taulukko 30). Hiilidioksidipäästöihin ylläpitoajan kasvattamisella on näin laskettuna hyvin pieni vaikutus koska päästöt lisääntyvät lähes samassa suhteessa ylläpitoajan kanssa. Tämä johtuu siitä, että hiilidioksidipäästöt syntyvät lähes yksinomaan ylläpidosta.

Kuvasta 20 nähdään, että TMR vuosiasuinneliötä kohden pienenee merkittävästi. Pudotus on kah-

denkymmenen ja kolmenkymmenen prosentin välillä. Tämä on seurausta materiaalinkulutuksen painottumisesta rakennusvaiheeseen. Hiilidioksidipäästöt vuosiasuinneliölle eivät pienene merkittävästi tarkasteluaikaa kasvattamalla, koska päästöt syntyvät nimenomaan käyttövaiheessa.



Kuva 20. Ylläpitoajan pidentämisen (50:stä 100:aan vuoteen) vaikutus vuosiasuinneliötä kohden laskettuihin materiaalinkulutukseen ja hiilidioksidipäästöihin.

Taulukko 29. Ylläpitoajan pidentämisen (50:stä 100:aan vuoteen) vaikutus ylläpidon aikaisiin ympäristövaikutuksiin

	Energia MJ	CO ₂ kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Sadevesi kg
Täystiilipientalo	38 530	3 210	5 670	0	2 025 670	2 350	25 000
Kevytsoharkkorunko tiiliverhoilu	38 530	3 210	5 670	0	2 025 670	2 350	25 000
Kevytsoharkkorunko, betonipohjat	41 020	3 420	6 040	0	2 156 610	2 510	25 000
Kevytsoharkkorunko, puupohjat	39 970	3 330	5 880	0	2 101 410	2 440	25 000
Puutalo, tiiliverhoilu	38 790	3 230	5 710	0	2 039 060	2 370	25 000
Puutalo, alapohja betonia	38 530	3 210	5 670	0	2 025 670	2 350	25 000
Peruspuutalo	37 480	3 120	5 520	0	1 970 470	2 290	25 000
Peruspuutalo, selluvillaeriste	35 980	3 000	5 300	0	1 891 370	2 200	25 000
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	35 980	3 000	5 300	0	1 891 370	2 200	25 000
3 krs betonikerrostalo	26 970	2 250	3 970	0	1 417 620	1 650	16 670
3krs puukerrostalo	24 570	2 050	3 620	0	1 291 620	1 500	16 670
5krs betonikerrostalo	24 120	2 010	3 550	0	1 268 240	1 470	10 000
5krs puukerrostalo	22 340	1 860	3 290	0	1 174 540	1 370	10 000
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	23 320	1 940	3 430	0	1 225 750	1 420	10 000
KESKIARVO	33 294	2 775	4 902	0	1 750 362	2 035	20 595

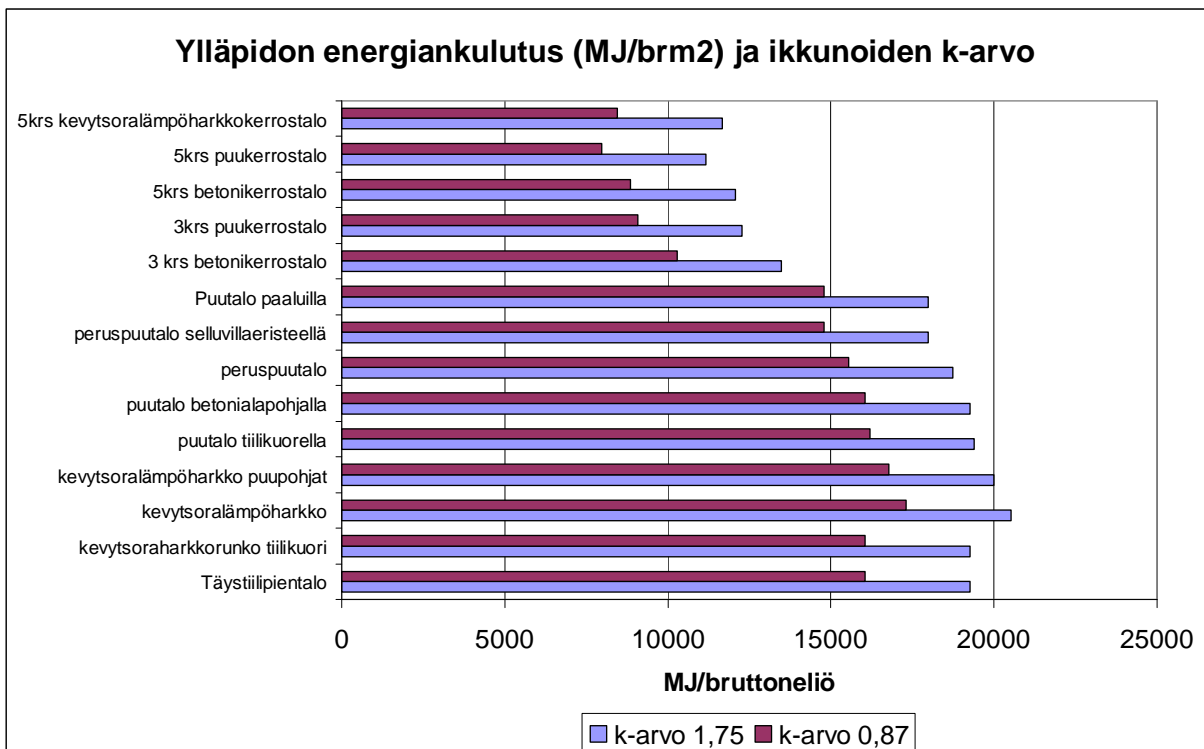
Taulukko 30. Ylläpitoajan pidentämisen (50:stä 100:aan vuoteen) vaikutus vuosiasuinneliötä hohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

	TMIR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg
Täystiilipientalo	107	106	0	23 384	28	478	40
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	103	102	0	23 383	28	470	39
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	104	103	0	24 936	30	497	42
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	98	97	2	24 294	29	488	40
Puutalo, tiiliverhoilu	100	98	2	23 522	29	478	39
Puutalo, alapohja betonia	95	93	2	23 354	28	463	38
Peruspuutalo	92	90	3	22 718	28	452	37
Peruspuutalo, selluvillaeriste	88	86	3	21 797	26	429	35
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	76	73	3	21 807	26	430	36
3 krs betonikerrostalo	67	66	1	16 350	20	323	27
3krs puukerrostalo	55	53	2	14 880	18	292	24
5krs betonikerrostalo	58	57	0	14 628	18	289	24
5krs puukerrostalo	47	45	2	13 530	16	266	22
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	53	52	1	14 157	17	280	23
KESKIARVO	82	80	2	20 196	24	403	33

5.3.7 Ikkunoiden eristävyysvaikutus

Tässä herkkyystarkastelussa ikkunoiden läpi virtaavan energian määrä on puolitettu. Alkuperäisen 1,75 sijaan ikkunoiden k-arvo on 0,86. Rakentamiseen asialla ei ole vaikutusta, koska ikkunoiden osuus koko rakennuksen massasta ja hiilidioksidipäästöistä on häviävän pieni, mutta ylläpidon aikainen energiankulutus pienenee mainittavasti, jopa 20 - 30 prosenttia. Kuvassa 21 näkyy ikkunoiden selvä vaikutus. Tarkat luvut löytyvät taulukoista 31 ja 32. Ylläpidon ympäristövaikutuksiin tehokkaasti eristävillä ikkunoilla on suuri merkitys. Keskimäärin koko talon energiankulutuksesta lähtee pois viidennes. Vuosiasuinneliötä kohti laskettuna hyvin eristävien ikkunoiden vaikutus on

niinikään suurehko. Energiankulutus laskee noin viidenneksen, TMR vähemmän.



Kuva 21. Ikkunoiden eristävyyden vaikutus ylläpidon aikaiseen energiankulutukseen. Vertailtavat k-arvot ovat 1,75 (perustapaus) ja 0,87 (50 prosenttia eristävämpi).

Taulukko 31. Erittäin hyvin eristävien ikkunoiden vaikutus ylläpidon aikaisiin ympäristövaikutuksiin

	Energia MJ	CO ₂ kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Sadevesi kg
Täystiilipientalo	16 060	1 340	2 360	0	844 190	980	12 500
Kevytsoharkkorunko tiiliverhoilu	16 060	1 340	2 360	0	844 190	980	12 500
Kevytsohalkämpöharkko, betonipohjat	17 300	1 440	2 550	0	909 660	1 060	12 500
Kevytsohalkämpöharkko, puupohjat	16 780	1 400	2 470	0	882 060	1 030	12 500
Puutalo, tiiliverhoilu	16 190	1 350	2 380	0	850 890	990	12 500
Puutalo, alapohja betonia	16 060	1 340	2 360	0	844 190	980	12 500
Peruspuutalo	15 530	1 290	2 290	0	816 590	950	12 500
Peruspuutalo, selluvillaeriste	14 780	1 230	2 180	0	777 040	900	12 500
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	14 780	1 230	2 180	0	777 040	900	12 500
3 krs betonikerrostalo	10 270	860	1 510	0	540 170	630	8 330
3krs puukerrostalo	9 080	760	1 340	0	477 170	550	8 330
5krs betonikerrostalo	8 850	740	1 300	0	465 480	540	5 000
5krs puukerrostalo	7 960	660	1 170	0	418 630	490	5 000
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	8 450	700	1 240	0	444 230	520	5 000
KESKIARVO	13 439	1 120	1 979	0	706 538	821	10 298

Taulukko 32. Erittäin hyvin eristävien ikkunoiden vaikutus vuosiasuinneliötä kohti laskettuihin ympäristövaikutuksiin

	TMR kg	Abioottinen kg	Bioottinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg
Täystiilipientalo	137	136	1	19 593	25	439	36
Kevytsoraharkkorunko tiiliverhoilu	129	128	1	19 592	25	422	36
Kevytsoralämpöharkko, betonipohjat	127	126	1	21 192	27	449	38
Kevytsoralämpöharkko, puupohjat	118	115	3	20 544	26	443	36
Puutalo, tiiliverhoilu	124	120	4	19 716	26	435	35
Puutalo, alapohja betonia	115	111	4	19 533	25	409	34
Peruspuutalo	110	105	6	18 896	24	400	33
Peruspuutalo, selluvillaeriste	105	99	6	17 965	22	371	30
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	80	74	6	17 985	22	373	31
3 krs betonikerrostalo	77	76	1	12 518	16	261	23
3krs puukerrostalo	58	53	5	11 028	14	229	19
5krs betonikerrostalo	63	63	1	10 792	14	226	20
5krs puukerrostalo	46	42	4	9 674	12	201	16
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	56	54	1	10 340	13	219	18
KESKIARVO	96	93	3	16 383	21	348	29

5.3.8 Yhteenveto herkkyystarkasteluista: factor 2 -talo

Jos kaikki edellisissä luvuissa säästöä aiheuttavat toimet toteutetaan yhtä aikaa, ovat vaikutukset merkittäviä. Rakentamisaikainen energian- ja materiaalinkäyttö pienenevät selvästi. Bruttoneliölle laskettu TMR putoaa jopa puoleen. Vuosiasuinneliölle laskettuna vaikutukset ovat niinkään suuria, materiaalinkäytössä jopa viidenkymmenen prosentin luokkaa, energiankulutuksessa kolmanneksen verran. Voidaan siis puhua materiaalitehokkuudeltaan factor 2 -taloista, talosta, jonka ekotehokkuus on parantunut kertoimella kaksi.

Taulukoiden 33 ja 34 lukujen vertaaminen taulukoissa 11 ja 12 esitettyihin perustapaus-lukuihin on mielenkiintoista: korkeimmillaan perustapausten TMR nousi liki sataanviiteenkymmeneen kilogrammaan vuosiasuinneliötä kohti (täystiilipientalo). Puukerrostalojen vastaava luku kaikki säästötoimet yhtä aikaa suoritettuina on kolmenkymmenen kilogramman paikkeilla. Tämä tarkoittaa materiaalinkäytön todella merkittävää tehostumista. Erot eniten ja vähiten kuluttavien välillä ovat jopa lähes viisinkertaiset!

Taulukko 33. Säästöä aikaansaavat toimenpiteet yhtä aikaa: Ikkuna-alaa pienennetty ja ikkunoiden eristävyys kaksinkertaistettu, perustamissyvyys 0,5 metriä, taloissa yksi lisäkerros, ylläpitoaika pidennetty sataan vuoteen. Rakentamisaikaiset ympäristövaikutukset.

	TMR kg	Abiootinen kg	Biootinen kg	Vesi kg	Ilma kg	CO ₂ kg	Uusiutuva E MJ	Uusiutumaton E MJ
Täystiilipientalo	2 340	2 310	30	6 780	100	210	380	2 440
Kevytsohalkkorunko tiiliverhoilu	1 990	1 960	30	6 700	80	180	160	1 910
Kevytsohalkkorunko, betonipohjat	1 700	1 670	30	10 950	90	170	90	1 890
Kevytsohalkkorunko, puupohjat	1 370	1 250	130	10 240	90	140	340	1 910
Puutalo, tiiliverhoilu	1 730	1 560	170	5 280	110	160	470	2 050
Puutalo, alapohja betonia	1 280	1 100	180	3 930	90	100	340	1 160
Peruspuutalo	1 210	980	230	3 860	100	100	360	1 230
Peruspuutalo, selluvillaeriste	1 110	890	230	3 160	50	50	480	720
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	990	760	230	4 020	60	80	490	840
3 krs betonikerrostalo	1 370	1 340	40	3 920	60	120	80	960
3krs puukerrostalo	720	530	200	2 130	50	50	110	700
5krs betonikerrostalo	1 220	1 190	30	3 690	50	120	70	900
5krs puukerrostalo	590	410	190	1 930	50	50	100	650
5krs ks-lämpöhalkkokerrostalo	940	900	40	5 480	50	100	70	990
KESKIVARVO	1 326	1 203	124	5 147	74	116	252	1 311

Taulukko 34. Säästöä aikaansaavat toimenpiteet toteutettuna yhtä aikaa: Ikkuna-alaa pienennetty ja ikkunoiden eristävyys tuplattu, perustamissyvyys 0,5 metriä, taloissa yksi lisäkerros, ylläpitoaika pidennetty sataan vuoteen. Rakentaminen ja ylläpito vuosiasuinneliötä kohti laskettuna.

	TMR kg	Abiootinen kg	Biootinen kg	Vesi kg	Ilma kg	Energia MJ	CO ₂ kg
Täystiilipientalo	73	73	0	16 628	20	347	29
Kevytsoharkkorunko tiiliverhoilu	69	69	0	16 627	20	339	28
Kevytsohalämpöharkko, betonipohjat	70	70	0	18 237	22	367	31
Kevytsohalämpöharkko, puupohjat	65	64	1	17 805	22	362	30
Puutalo, tiiliverhoilu	67	65	2	17 005	21	351	29
Puutalo, alapohja betonia	61	59	2	16 595	20	332	27
Peruspuutalo	59	56	3	16 171	20	325	27
Peruspuutalo, selluvillaeriste	55	53	3	15 265	18	303	25
Puutalo paalujen päällä, selluvillaeriste	54	51	3	15 275	18	305	25
3 krs betonikerrostalo	45	45	0	10 596	13	213	18
3krs puukerrostalo	34	32	2	9 321	11	186	15
5krs betonikerrostalo	41	40	0	9 520	12	191	16
5krs puukerrostalo	30	28	2	8 477	10	169	14
5krs ks-lämpöharkkokerrostalo	36	36	1	9 154	11	185	16
KESKIARVO	54	53	1	14 048	17	284	24

6 Tulosten tarkastelua

Tässä luvussa tarkastellaan tuloksia yleisesti. Johtopäätökset esitetään erikseen luvussa 7.

6.1 Yleistä

Kun tarkastellaan pelkkiä rakentamisen TMR-lukuja, ovat erot ääripäissä moninkertaiset. Viisikerroksisen puukerrostalon TMR on 837 kg/brm^2 kun tiilipientalon TMR on $3\,600 \text{ kg/brm}^2$. Jos tiilitalo olisi kellarilla varustettu, kohoaisi TMR vielä noin kaksinkertaiseksi. Muut rakennukset asettuvat näiden välille. Tämän tutkimuksen rajausten mukaan lasketun kerrostaloneliömetrin TMR on keskimäärin vain puolet pientalon TMR:sta.

Yleisesti tuloksista voidaan sanoa, että pientalojen kokonaismateriaalivirroissa perustukset ovat määräävässä asemassa. Maansiirrot nostavat abioottisen kategorian kautta TMR-lukuja neliötä kohden kaikissa tapauksissa vähintään kaksinkertaiseksi pelkkiin maanpäällisiin osiin nähden. Perustamisen kokonaismateriaalivirrat ovat keskimäärin noin kaksi tuhatta kiloa bruttoneliötä kohden, useimmiten sen yläpuolella.

Rakentamisen hiilidioksidipäästöt vaihtelevat voimakkaasti. Suurimmat päästöt syntyvät tiilipientalon rakentamisesta, pienimmät puukerrostalojen. Samassa järjestyksessä vaihtelu on $335 - 67 \text{ kg/brm}^2$, eli ero on viisinkertainen. Pientaloista pienimmät hiilidioksidipäästöt on selluvillaeristetyllä mallilla, 92 kg/brm^2

Jos ovat erot suuria rakentamisen ajalta, ovat ne sitä myös ylläpidon ajalta. Pientalojen keskimääräinen energiankulutus koko ylläpidon ajalta bruttoneliötä kohti on reilut $19\,000 \text{ MJ}$ kun kerrostalojen keskiarvo on hieman yli $12\,000 \text{ MJ}$. Vaipan suhteellisesti pienempi osuus vähentää neliömetrille laskettua kulutusta roimasti.

Kerrostalot ovat pientaloja tehokkaampia kaikilla ekotehokkuuden mittareilla. Ero on vieläpä sangen suuri.

Ikkunoiden läpi virtaava energiamäärä on suuri. Ikkuna-alan pienentämisellä ja ikkunoiden eristävyyden parantamisella on molemmilla merkittävä vaikutus rakennuksen ylläpidon aikaiseen energiankulutukseen.

Kaikki tässä tutkimuksessa mallinnetut säästötoimenpiteet summaamalla voidaan saavuttaa todella merkittäviä säästöjä energian- ja materiaalinkulutuksessa sekä rakentamisen että ylläpidon aikana.

6.2 Rajauksen vaikutus tuloksiin

Kirjallisuusosion perusteella voidaan olettaa, että neliötä kohti laskettu energiankulutus on nyt käytetyllä rajauksella pienempi kuin mitä laajempi rajausta olisi tuottanut: kuljetusten sulkeminen pois johti epäilemättä ylläpitovaiheen osuuden kasvuun rakentamisen kustannuksella. Perustusten mallintaminen mukaan vaikutti myös puolestaan merkittävästi. Useiden talojen kohdalla perustuksiin liittyvät rakennusvaiheen tapahtumat vastasivat lähes yksinomaan materiaalinkulutuksesta. Perustamissyvyys-herkkyystarkastelu osoitti, että laskennan parametreilla on suuri vaikutus.

Perustukset ovat se osa rakennusta, johon rakennuttaja voi vaikuttaa ehkä kaikkein vähiten: tulevan rakennuksen maaperää ei useinkaan pääse valitsemaan koska tontin saaminen ylipäättään saattaa olla vaikeaa. Raskas rakennus ja pehmeä maa ovat tekijöitä, jotka kasvattavat perustusten kokoa: Anturat joudutaan rakentamaan erittäin leveinä tai vaihtoehtoisesti on turvauduttava paaluttamiseen. Asiaan voikin vaikuttaa lähinnä vain epäsuorasti valitsemalla kevyitä rakennusmateriaaleja kuten puuta.

Jos laskelmiin olisi sisällytetty muita rakennusosia, olisivat kaikki luvut luonnollisesti isompia. Perustusten erittäin suurta osuutta ei sisustusteknisillä osilla voitaisi kuitenkaan muuttaa mihinkään. LVIS-tekniikan mukaan ottaminen olisi ollut mielenkiintoista. Kuparin suuri MI-luku ja nykyasuntojen runsas johdotus olisivat yhdessä varmasti näkyneet tuloksissa. Itsestään selvästi mukaan tulisi ottaa ilmanvaihdon mukana karkaava lämpöenergia.

Tulokset ovat siis eräänlaiset vähimmäisarvot sille, missä mittakaavassa asumisen energian- ja ko-

konaismateriaalinkulutus voivat olla.

6.3 Tulosten luotettavuus ja käyttö

Hiilidioksidi- ja energiakertoimia on saatavilla eri lähteistä. Tässä tutkimuksessa kyseiset kertoimet kerättiin pääasiassa kahdesta lähteestä. Jos samalle materiaalille löytyi kaksi eri kerrointa, valittiin niistä uudempi. Toisaalta myös materiaalin valmistuspaikka vaikuttaa syntyneisiin päästöihin, joten mitään yhtä oikeaa kerrointa ei liene olemassakaan. Siksi on muistettava, että tulokset kertovat lähinnä suuruusluokista.

MI-kertoimet ovat Wuppertal-instituutin julkaisemia tai itse muiden kerrointen perusteella laskettuja. Niissä vaihtoehtoisia lukuja ei ole olemassakaan. Tässä mielessä mielenkiintoinen on tulosten kohta, jossa ilmankulutus ja hiilidioksidipäästöt ovat samassa kuvassa, kuva 5. Palkkien välillä on selvästi korrelaatio, mutta syyt poikkeamien takana olisi mielenkiintoista selvittää. On vaikeaa arvioida mistä pieni huojunta kuvaajan pylväiden suhteessa aiheutuu. Asian selvittäminen on työlästä, koska MI-kerrointen laskentatapoja ja taustoja ei ole tehty läpinäkyviksi.

Tulosten kannalta on olennaista millä kertoimilla ne on laskettu. Niinikään olennaista on esimerkiksi materiaalien tiheyden määrittäminen. Tämän tutkimuksen tavoitteena oli selvittää eri tyyppisten asuinrakennusten materiaali-intensiteettiä. Verroiksi haluttiin laskea hiilidioksidi- ja energiavaikutukset. Jos tarkastelua tehdään vain tutkimuksen sisällä ja vertaillaan erilaisia taloja keskenään, tulokset ovat vertailukelpoisia. Kaikki talot on laskettu samoilla menetelmillä ja samoilla kertoimilla.

Tulosten suuruusluokka on melko sama kuin muiden vastaavien tutkimusten tulosten:

Tämän tutkimuksen rakennusten rakentamisen TMR-arvot asettuivat välille 850 - 3590 kg/brm².

Rohn ja Kennedy (1997) viiden eri talon arvot abioottisessa kategoriassa asettuivat välille 1 300 – 2 800 kiloa asuineliötä kohden.

Sager ja Wangelin (1998) neljän erilaisen talon abioottiset materiaalivirrat sijoittuvat 2 443 ja 6 955 kg:n välille asuineliötä kohden. Kaksi kellarein varustettua taloa vaati yli 6 000 kg kumpikin, kun taas ilman kellaria rakennetut jäivät alle kolmen tuhannen kilon per neliö.

Tämän tutkimuksen kerrostalojen TMR oli välillä 840 - 1840 kg/brm². Herbstin (2000). Eri kerrostalojen abioottiset arvot vaihtelivat 1 100 ja 1 900 kg:n/m² välillä. Koskelan ym. (2002) tutkimus Kerrostalon todettiin kuluttavan materiaalia noin 750 kg/brm²

Tämän tutkimuksen vuosiasuinneliöiden abioottisen luonnonvarakulutuksen keskiarvo oli 104 kg/brm². Se jää merkittävästi jälkeen yliopistorakennusten vuosihuoneistoneliömetriä kohti laske-
tusta kulutuksesta. Physicum-rakennuksen todettiin kuluttavan abioottisia luonnonvaroja 279 kg huoneistoneliömetrivuotta kohden, kun tarkasteltava ajanjakso on sata vuotta. Viikin kampuksella sijaitsevan Infokeskuksen vastaava luku oli 240 kg/m². (Sinivuori ja Saari 2006). Syyn täytyy piillä Sinivuoren mallintamien rakennusten massiivissa kellaritiloissa, jotka ovat edellyttäneet mittavia maansiirtoja.

7 Johtopäätökset

Tulokset ovat johdonmukaisia aiempien tutkimusten kanssa. Niin materiaalin- kuin energiankulutuskin ovat samoissa suuruusluokkiin kirjallisuudessa esiteltyjen tutkimusten kanssa.

Rakentamisen materiaalivirtoja on tämän tutkimuksen tulosten perusteella mahdollista pienentää huomattavasti. Tehokkaita keinoja ovat puun suosiminen rakennusaineena ja tiivis asuminen. Kerrostalotyylinen asuminen on kaikissa tapauksissa ja jokaisessa vaikutuskategoriassa ekotehokkaampaa kuin pientaloasuminen, Pientalojen ekotehokkuutta voidaan parantaa tekemällä niistä useamman perheen taloja vaikkapa lisäämällä yksi kerros. Pelkkien neliömetriä kohti laskettujen tulosten lisäksi on syytä pitää mielessä, että asumisväljyys on omakotitaloissa keskimäärin aivan toista luokkaa kuin kerrostaloissa. Keskimääräinen omakotiasuja asuu huomattavasti väljemmin kuin kerrostaloasuja. Tässä tutkimuksessa esitellyt rakennukset ja niiden osat eivät sisällä mitään erikoistekniikkaa tai uusia innovaatioita. Todella merkittäviä ekotehokkuuden parannuksia voidaan saavuttaa vain muuttamalla hieman tottumuksia.

Erittäin hyvin eristävien ikkunoiden vaikutus oli suuri. Materiaalipanoksena uusien ikkunoiden vaihtaminen on talon mittakaavassa merkityksetön, mutta energiankulutuksessa parannus on huomattava.

MIPS-menetelmä korostaa voimakkaasti rakentamisvaihetta, erityisesti sen vaatimia maansiirtoja. Energiaan ja hiilidioksidintuottoon keskittyvä tarkastelu taasen painottaa ylläpitoa. Jos pysytään pelkkien neljän MIPS-kategorian piirissä, kerryttää rakentaminen abioottista ja bioottista kuormaa, ylläpito taas näkyy ilman ja veden kulutuksessa.

Rakentamisen aikaiset maansiirrot ovat niin suuressa asemassa MIPS-laskelmissa, että niiden ohessa on ilman muuta perusteltua suorittaa myös muita laskelmia, jotta ylläpitovaiheen vaikutukset saadaan kunnolla esille. Maansiirtojen materiaalikulutukseen ja sen merkittävyyteen vaikuttavat luonnollisesti myös rakentamispaikan olosuhteet ennen rakentamista: Arkijärjellä ajatellen neitseellisen maan möyriminen on ilmiselvästi eri asia kuin taajaman moneen kertaan myllätyn rakennetun maan

uudelleensiirto. MIPS, energia ja CO2 eivät ota huomioon arvovalintoja, maan pilaantumista tai maisemaseikkoja. Kuten tarvitaan energia- ja hiilidioksiditarkastelujen rinnalle materiaalivirtatarkasteluja, tarvitaan myös materiaalivirtojen oheen energia- ja hiilidioksiditarkasteluja. Korostamalla voimakkaasti vain ympäristövaikutusten yhtä puolta syyllistytään helposti harhaanjohtamiseen tai jopa viherpesuun. On esimerkiksi päivänselvää, että hiilidioksidi-intensiivinen lentoliikenne korostaa mielellään alan vähäistä materiaalinkulutusta.

Näiden tarkastelujen ulkopuolelle jää kokonaan taloudellisten arvojen pohtiminen. Taloudellisilla tekijöillä on ilman muuta paikkansa kun mietitään ohjauskeinoja ekotehokkaampaan yhteiskuntaan. Eko- ja kustannustehokkuutta yhdistävät talolaskelmat olisivat ilman muuta mielenkiintoisia.

Vuosiasuinneliötä kohden laskettuja TMR-lukuja on helppo pienentää pidentämällä talon ylläpitoaikaa. Hiilidioksidipäästöjen kanssa ylläpitoajan lisääminen ei tuota mainittavaa alenemista, koska päästöt syntyvät enimmäkseen ylläpidon energiankulutuksen kautta.

Energia- ja hiilidioksidipainottunut tarkastelu saattaa johtaa erilaisiin lopputulemiin kuin materiaalitehokkuuspainottunut. Materiaalitehokkuusorientoitunut kehottaa odottelemaan vielä sata vuotta siinä vaiheessa kun energiankulutusta kauhistelevalta tilalta jo pusku traktoria paikalle. On tärkeää ymmärtää, että molemmat näkemykset ovat tärkeitä, ja että materiaaleja ja energiaa voi säästää yhtä aikaa. Energia- ja materiaalitehokkuustarkastelujen ei tule olla kilpailevia vaan toisiaan täydentäviä menetelmiä.

8 Lähteet

- Alanne, K. & Saari, A. Estimating the environmental burdens of residential energy supply systems through material input and emission factors. *Building and Environment*, In Press, Corrected Proof
- Anderson, J. 1995. *Teräs asuntorakentamisessa. Teräsrakenneyhdistys*, Helsinki, 106 s.
- Autio, S. & Lettenmeier, M. 2002.
- Citherlet, S. & Defaux, T. 2007. Energy and environmental comparison of three variants of a family house during its whole life span. *Building and Environment*, 42 (2): 591-598.
- Ding, G. K. C. 2008. Sustainable construction—The role of environmental assessment tools. *Journal of Environmental Management*, 86 (3): 451-464.
- Heino, E. 2002. *Ekotehokkuus rakennusalaalla*.
- Herbst, B. 2000. *Mehrfamilienhäuser nach dem MIPS-Konzept unter Berücksichtigung*. Diplomarbeit an der BUGH Wuppertal, FB 10,
- HERTWICH, E. G., PEASE, W. S. & KOSHLAND, C. P. 1997. EVALUATING THE ENVIRONMENTAL IMPACT OF PRODUCTS AND PRODUCTION PROCESSES: A COMPARISON OF SIX METHODS. *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT* 196 (1): 13-29.
- Häkkinen, T. 2002. *Rakennus- ja kiinteistöalan ekotehokkuus*. Ympäristöministeriö, Helsinki, 162 s.
- Häkkinen, T. 1997. *Rakennusmateriaalien ja -tuotteiden ympäristövaikutukset ja niiden arviointiperusteet*. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 137 s.
- Häkkinen, T. & Rakennustuoteteollisuus. 1998. *Betonirakenteiden ympäristövaikutukset*. Suomen betonitieto, Helsinki, 104 s.
- Häkkinen, T., Huovila, P., Leivonen, J., Pylkkö, T., Seppälä, J. & Tattari, K. 1999. *Rakentamisen ja rakennusten ekotehokkuus*.
- Junnila, S., Saari, A. & Teknillinen korkeakoulu Rakentamistalous. 1998. *Asuinkerrostalon rakennusteknisten rakennusosien elinkaaren ympäristökuormat*. Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 82 s.
- Junnila, S., Saari, A. & Teknillinen korkeakoulu Rakentamistalous. 1997. *Rakennusosien aiheuttamien ympäristökuormien laskenta*. TKK, Espoo, 90 s.
- Karjalainen, M. 2002. *Suomalainen puukerrostalo puurakentamisen kehittämisen etulinjassa*. Oulu, Oulun yliopiston kirjasto,
- Kauppinen, Tommi, Satu Lähteenoja & Michael Lettenmeier (2008). *Kotimaisten elintarvikkeiden materiaalipanokset – ElintarvikeMIPS*. Maa- ja elintarviketalous 130, Elintarvikkeet. Saatavana pdf-muodossa: <http://www.mtt.fi/met/pdf/met130.pdf>
- Keppo, J. 2002. *Talonrakentajan käsikirja*. Rakentajan tietokirjat, Espoo, 109 s.

Kivinen, T., Ahokas, J., Poikalainen, V., Teye, F., Hautala, M., Tamminen, P. 2008. Kylmäpihattojen toimivuus Suomessa ja Virossa. MTT 155, Tampereen Yliopistopaino Oy – Juvenes Print, 64 s.

Koskela, S., Seppälä, J., Leivonen, J. : Päätösanalyysin käyttö rakennusten ekotehokkuuden arvioinnissa 2002. Ympäristövaikutukset rakennusten ekotehokkuuden arvioinnissa. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, 82 s.

Kotakorpi, E., Lähteenoja, S., Lettenmeier, M. 2008. KotiMIPS – Kotitalouksien luonnonvarojen kulutus ja sen pienentäminen. 146 s. Suomen ympäristö, 43/2008. Saatavana pdf-muodossa:

Koskinen, H. 2001. MIPS ja ekologinen selkäreppu tuotteiden potentiaalisten ympäristövaikutusten vertailun menetelminä : ongelma-kohtien tarkastelu. pro gradu Helsingin yliopisto, Limnologian ja ympäristönsuojelun laitos, Ympäristönsuojelutieteen osasto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta., Helsinki,

Koukkari, H. 1996. Jälkijännitetyn betoni-teräsluottolaatan suunnitteluperusteet. Valtion teknillinen tutkimuskeskus, Espoo, 37, 12 s.

Kurtelius, J. 2001. Kestävä kehitys kiinteistöalalla. Helsinki, Kiinteistöalan kustannus,

Kyyrönen, K. 2004. Talonrakennus. 2. uud. p. painos. Otava, Helsingissä, 333 s.

Kähkönen, L. 1985. Kantavat puurakenteet : insinööriopetus. 2. uud. p. painos. Rakentajain kustannus, Hki, 148 s.

Laitinen, E. & Tampereen teknillinen korkeakoulu Rakennustekniikan osasto. 1996. Teollinen betonirakentaminen. Rakennustieto, Helsinki, 186 s.

Laitinen, E. & Tampereen teknillinen korkeakoulu. 1995. Teollinen puurakentaminen. Rakennustieto, Helsinki, 176 s.

Luoto, Karoliina, Satu Lähteenoja & Michael Lettenmeier (2008). LiikuntaMIPS – liikuntaharrastusten luonnonvarojen kulutus. Kuluttajatutkimuskeskuksen julkaisuja 4/2008.

Lähteenoja, S., Lettenmeier, M., Saari, A. 2006. LiikenneMIPS – Suomen liikennejärjestelmän luonnonvarojen kulutus. Suomen ympäristö 830.

Mohr, H., & Nitschke, M. 1995. Vergleich verschiedener Gebäudekonzeptionen aus ökonomischer und ökologischer Sicht. Diplomarbeit an der BUGH Wuppertal FB 11,

Moisio, Tiina, Satu Lähteenoja & Michael Lettenmeier (2008). TavaraMIPS – Kodin tavaroiden luonnonvarojen KULUTUKSEN ARVIOINTI. KULUTTAJATUTKIMUSKESKUKSEN JULKAISUJA 6/2008.

Mäenpää, I. 2005. Kansantalouden ainevirtatilinpito. Helsinki, Tilastokeskus,

Neuvonen, P. 2006. Kerrostalot 1880-2000 arkkitehtuuri, rakennustekniikka, korjaaminen. Rakennustieto, Helsinki, 288 s.

- Nieminen, A., Lettenmeier, M., Saari, A. 2005. Luonnonvarojen kulutus Suomen lentoliikenteessä (lentoMIPS). Liikenne- ja viestintäministeriö, Helsinki. 123 s.
- Nishioka, Y., Yanagisawa, Y. & Spengler, J. D. 2000. Saving Energy versus Saving Materials. Life-Cycle Inventory Analysis of Housing in a Cold-Climate Region of Japan. *Journal of Industrial Ecology* 4 (1): 119-135.
- Nässén, J., Holmberg, J., Wadeskog, A. & Nyman, M. 2007. Direct and indirect energy use and carbon emissions in the production phase of buildings: An input–output analysis. *Energy*, 32 (9): 1593-1602.
- OECD. 1998. Eco-efficiency.
- Peltonen, V. 2002. Vihreä Vitruvius : ekologisen arkkitehtuurin periaatteet ja käytäntö. Edita, Helsinki, 147, 6 s.
- Penttilä, H. & Koskenvesa, A. 1999. Pientalon suunnittelu. Rakennustieto, Helsinki, 114 s.
- Pingoud, K. & Perälä, A. 2000. Arvioita puurakentamisen kasvihuonevaikutuksesta 1. Skenaariotarkastelu potentiaalisesta puunkäytöstä ja sen kasvihuonevaikutuksesta vuosien 1990 ja 1994 uudisrakentamisessa. 2. Rakennuskannan puutuotteiden hiilivaranto Suomessa: inventaariot vuosilta 1980, 1990 ja 1995. VTT, Espoo, 58 s.
- Rantamäki, M. & Tammirinne, M. 2000. Pohjarakennus. 11. muuttam. p. painos. Otatieto, Espoo, 232 s.
- Rohn, H. & Kennedy, M. 1997. Ökologie im Hausbau Untersuchung eines Einfamilienhauses in 5 Rohbauvarianten nach verschiedenen Methoden. WS,
- Salo, Marja, Satu Lähteenoja & Michael Lettenmeier (2008). MatkailuMIPS – matkailun luonnonvarojen kulutus. Työ- ja elinkeinoministeriön julkaisu 8/2008.
- Saari, A. 2001. Rakennusten ja rakennusosien ympäristöselosteet. Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki, 93 s.
- Saari, A. & Teknillinen korkeakoulu Rakentamistalouden laboratorio. 2000. Ympäristökuormitusten ohjaus talonrakennushankkeissa liike- ja palvelurakennukset. Teknillinen korkeakoulu, Espoo, 35 s.
- Sager, C., & Wangelin, M. 1998. Ökobilanz von Gebäuden nach dem MIPS-Konzept. Universität Gesamthochschule Kassel: Fachbereich 12 – Architektur,
- Savolainen, I., Ohlström, M. & Kärkkäinen, A. 2003. Ilmasto : haaste teknologialle : näkemyksiä ja tuloksia Climtech-ohjelmasta. Tekes, Helsinki, 208 s.
- Savolainen, T. 1998. Elementtirakentaminen ja vapaamuotoisen arkkitehtuurin toteutus. T. Savolainen, Riihimäki, 103 s.
- Schmidt-Bleek, F. 2000. Luonnon uusi laskuoppi. Helsinki, Gaudeamus,

- Siikanen, U. 1999. Puurakentaminen ja paloturvallisuus ohjeita suunnittelijoille. Puuinfo, Helsinki, 56 s.
- Siikanen, U. 1998. Puurakennusten suunnittelu. 4. täysin uud. p. painos. Rakennustieto, Helsinki, 259 s.
- Sinivuori, P. 2004. Kahden Helsingin yliopiston rakennuksen luonnonvarojen kulutuksen selvittäminen MIPS-laskennan avulla. Helsingin yliopisto, Helsinki, 91 s.
- Sinivuori, P. & Saari, A. 2006. MIPS analysis of natural resource consumption in two university buildings. *Building and Environment*, 41 (5): 657-668.
- Sundell, K. & Rakennustuoteteollisuus. 1994. Harkkorakentaminen kevytsoraharkot suunnittelu ja rakentaminen. Rakennusalan kustantajat RAK, Helsinki, 144 s.
- Tilastokeskus. 2005. Suomen tilastollinen vuosikirja 2005 = Statistisk årsbok för Finland 2005 = Statistical yearbook of Finland 2005 / Tilastokeskus = Statistikcentralen; 2005 : 100. vuosikerta = årgång 100. Tilastokeskus, Helsinki, 702 s.
- Veuro, Sini, Lähteenoja Satu & Michael Lettenmeier (2008). Vapaa-aikaMIPS – vapaa-ajan vieton luonnonvarojen kulutus. Kuluttajatutkimuskeskuksen julkaisuja 5/2008.
- Viljakainen, M. & Tampereen teknillinen korkeakoulu. 1997. Puukerrostalo. Rakennustieto, Helsinki, 88 s.
- Wackernagel, M. & Rees, W. E. 1996. Our ecological footprint : reducing human impact on the earth. New Society Publishers, cop, Gabriola Island, 160 s.
- Wallbaum, H. 2003. Concepts and instruments for a sustainable construction sector. *Industry and environment* 26 (2-3): 53.
- Westermarck, M., Heuru, E., Lundsten, B. & Teknillinen korkeakoulu Luonnonmukaisen rakentamisen tutkimusyksikkö LRT. 1998. Luonnonmukaiset rakennusaineet. TKK, Espoo, 96 s.
- Westermarck, M., Lundsten, B., Heuru, E. & Teknillinen korkeakoulu Luonnonmukaisen rakentamisen tutkimusyksikkö LRT. 1996. Luonnonmukaisten rakennusaineiden valmistus ja käyttö maatielöjen sivuelinkeinona esitutkimus. TKK, Espoo, 102 s.
- Wuppertal-instituutti. 2003. MI-kerroin-taulukot.
http://www.wupperinst.org/en/info/entwd/index.html?&beitrag_id=437&bid=169 Luettu 19.6.2007.
- Zhang, Z., Wu, X., Yang, X. & Zhu, Y. 2006. BEPAS—a life cycle building environmental performance assessment model. *Building and Environment*, 41 (5): 669-675.

9 Liitteet

Liite 1: Kerrointaulukko

Rakennusaine	Abioottinen (kg)	Bioottinen (kg)	Vesi (kg)	Ilma (kg)	Tiheys kg/m ³	CO ₂ (kg)	Uudistuva energia (MJ)	Uusitutunnon energia (MJ)	Lähdenro
betoni	1,33	0	3,4	0,04	2400	0,14	0,04	0,81	1
asfaltti (sora95/bitumi5)	1,25	0	0,33	0		0,04	0	0,3	2
boorihappo B ₂ O ₃ *3H ₂ O	7,61	0	16,2	1,08		0	0	0	3
eps	2,5	0	137,7	2,48		2,8	0,76	110	4
hiekk	1,42	0	1,4	0,03		0	0	0	5
humus	1	0	0	0	1100	0	0	0	6
kartonki	0,3	0,22	24,9	0,07		0,03	3,3	0,3	7
kaukolämpö MJ Suom. ka.	0,14	0	0,22	0,1		0,11	0	0	8
kevytsoraharkko	1,62	0	14,31	0,03	650	0,29	0,27	3,2	9
kevytsora (reikätiili)	1,73	0	18,68	0,03	350	0,29	0,27	3,2	10
kierrätetty sanomalehtipaperi	0,24	0,04	14,8	0,05		0	0	0	11
kipsilevy	1,72	0,01	11,07	0,06	700	0,36	0,3	6,4	12
kuusi	0,68	4,72	9,4	0,16	430	0,07	2,9	1,4	13
lasi	2,39	0	30,7	0,71		0,71	0,18	8,7	14
lasivilla	4,66	0	46	1,8	17	1,27	0	17	15
lastulevy	0,68	0,65	18,4	0,29	700	0,38	20	6	16
liimapuu	2	9,13	23,6	0,54	450	0,25	3	5	17
mineraalivilla	4	0	39,7	1,69	30	1,41	0	17,8	18
neitseellinen teräs	9,34	0	81,9	0,77	7800	1,15	2,2	18,5	19
poistomaa (kaivuunmaa)	1	0	0	0	1900	0	0	0	20
polyeteeni PE	3,01	0	167,6	1,84		1,4	1,6	87	21
polyvinyylikloridi PVC	3,37	0	373,1	0,25	1400	1,21	0	30,5	22
Portland-sementti	3,22	0	16,9	0,33		0,69	0,14	4,9	23
protan	3,37	0	373,1	0,25		5,76	23,15	82,8	24
sadevesi	0	0	1	0		0	0	0	25
selluvilla (81kierpap19borihappo)	1,64	0,03	15,07	0,25	65	0,18	0,25	3	26

sementtilaasti (betoni)	1,72	0	3,98	0,08	0	0,12	0,02	0,82	27
solupolystyreeni (polystyreeni)	2,5	0	137,7	2,48		2,8	0,76	110	28
solupolyuretaani SPU	7,67	0	1003,0 8	4,68	35	5,1	0	110	29
sora	1,18	0	0	0	1750	0	0	0,01	30
sähkö MJ Helsingin energia	0,15	0	52,57	0,06	0	0,08	0,06	0,94	31
tiili	2,11	0	5,7	0,05	1360	0,23	0,5	3,4	32
tuulensuojalevy (kova kuitulevy)	1,96	0	32,9	0,48	300	0,4	6,8	6,2	33
uusioteräs (sähköteräs)	1,47	0	58,8	0,52	7800	0,44	0,8	4,8	34
vaneri (kuusi)	2	9,13	23,6	0,54	450	0,56	2	10	35

- 1 MIPS: Wuppertal-instituutti 2003, CO2/E: Junnila&Saari/RTS
- 2 www.asfalttiliitto.fi / CO2/E: Junnila&Saari
- 3 MIPS: Wuppertal 2003
- 4 MIPS: Wuppertal 2003
VTT 1836
- 5 MIPS: Wuppertal 2003
- 6 Tiheys Junnila & Saari 1998 mukaan
- 7 MIPS: Wuppertal 2003/
CO2/E: Junnila&Saari 1998
- 8 MIPS: LentoMIPS (Nieminen ym 2005)/
CO2/E: Helsingin energian kaukolämmön päästökerroin 2006
- 9 laskettu: 2/7*betoni+5/7*kevytsora
CO2/E: VTT 1836
- 10 www.kevytsoraharkko.fi
CO2/E: VTT 1836
- 11 MIPS: Wuppertal 2003
- 12 Levyn painosta on kipsiä 93 % ja kartonkia 6 % (GYPROC)
CO2/E: RTS
- 13 MIPS: Wuppertal 2003

	CO2/E: RTS	
14	MIPS: Wuppertal 2003	
	CO2/E: VTT 1836	
15	MIPS: Wuppertal 2003	
	CO2/E: Junnila&Saari 1998	
16	MIPS: Wuppertal 2003	
	CO2/E: VTT 1836	
17	Vaneri	
	CO2/E: RTS	
18	MIPS: Wuppertal 2003	
	Tiheys arvioitu Rakennustaito s. 185 IRL mukaan	
	CO2/E: Junnila&Saari 1998	
19	MIPS: Wuppertal 2003	
	CO2/E: RTS (kuumasinkitty teräs)	
20	Oma arvio	
21	MIPS: Wuppertal 2003	
	CO2/E: VTT 1836	
22	MIPS: Wuppertal 2003	
	CO2/E: Junnila&Saari	
23	MIPS: Wuppertal 2003	
	CO2/E: VTT 1836	
24	protan.fi	
25	Sadeveden kerroin on 1	
26	www.ekovilla.fi Tiheys eristeenä 35 kg/m ³ , tuulensuojalevynä	280kg/m ³ /
	CO2/E: RTS	
27	MIPS: Portland sementti Wuppertal 1:5 sementti ja hiekka	

- CO2/E: VTT 1836
- 28 MIPS: Wuppertal 2003
- CO2/E: VTT 1836
- 29 MIPS: Wuppertal 2003
- CO2/E: VTT 1836
- 30 CO2/E: Junnila&Saari 1998
- 31 Helsingin energian sähkön päästökerroin 2006
- 32 MIPS: Wuppertal 2003
- www.tiileri.fi, www.wienerberger.fi
- CO2/E: Junnila&Saari 1998/
- 33 MIPS: Wuppertal 2003(fibreboard)
- CO2/E: RTS
- 34 MIPS: Wuppertal 2003
- CO2/E: Junnila&Saari 1998
- 35 MIPS: Wuppertal 2003
- CO2/E: RTS

Liite 2: rakennusosien tiedot

Elementti tai rakennusosa, sen komponentit ja yksikkö		Massa/yksikkö (kg)	Materiaali	Abioottinen (kg)	Bioottinen (kg)	Vesi (kg)	Ilna (kg)	Rak. E Usiutuva (MJ)	Vuosi E (MJ)	Rak. CO2 (kg CO2-ekv)	Rak. E Usiutumaton (MJ)
Portaat kpl 1500 kpl		1107		1855	0	10223	106	183		214	1918
porras h 1500 (sementti)		1010	betoni	1343	0,0	3434	44	40		138	818
teräs		50	uusioteräs (sähköteräs)	73,5	0,0	2940	26,0	40,0		21,8	240
kaide (teräs)		47	neitseellinen	439	0,0	3849	36,3	103		54,1	869

		teräs (happiteräs)								
F27-VP04 Puinen välipohja (h=280mm), (RT VP 601) m²	43		54	77	696	15	351	0	16	250
pontattu rakennuslevy 22mm lastulevy	15,4	lastulevy	10,5	10,0	283	4,5	308		5,9	92
lattiakannattajat 220x75 mm, k 600 puu	11,8	kuusi	8,0	55,8	111	1,8	34,3		0,8	16
lämmöneristys 150mm min.villa	4,5	mineraalivilla	18,0	0,0	178	7,6	0,0		6,3	80
harvalauta 22x100 mm k 400 puu	2,4	kuusi	1,6	11,2	22,2	0,4	6,9		0,2	3,3
rakennuslevy 13 mm kipsilevy	9,1	kipsilevy	15,7	0,1	100	0,6	2,7		3,3	58
F27-VP05 Puinen välipohja, kerrostalo m²	39		68	109	700	13	45	0	17	271
pontattu rakennuslevy 18mm vaneri	8,1	vaneri (kuusi)	16,2	74,0	191	4,4	16,2		4,5	81
puupalkisto 48x220 mm k600 puu	7,6	kuusi	5,1	35,7	71,1	1,2	21,9		0,5	10
lämmöneriste 100 mm mineraalivilla	3,0	mineraalivilla	12,0	0,0	119	5,1	0,0		4,2	53
akustinen jousiranka k400 teräs	2,0	uusioteräs (sähköteräs)	2,9	0,0	117	1,0	1,6		0,9	10
rakennuslevy 13mm kipsilevy	9,1	kipsilevy	15,7	0,1	100	0,6	2,7		3,3	58
rakennuslevy 13 mm kipsilevy	9,1	kipsilevy	15,7	0,1	100	0,6	2,7		3,3	58
Ontelolaatta 200mm m²	260		346	0	1056	13	13	0	37	223
ontelolaatta 200mm (betoni)	242	betoni	321	0,0	822	10,6	9,7		33,2	196
raudoitus 440g/m, 7kpl (teräs)	3,1	uusioteräs (sähköteräs)	4,6	0,0	182	1,6	2,5		1,4	15
saumavalu (betoni)	15,0	betoni	20,0	0,0	51,0	0,7	0,6		2,1	12
kevytsorakate, betoni, bitumi m²	212		328	0	2601	9	37	0	47	450
kevytsora	112	kevytsora (reikätiili)	193	0,0	2092	3,4	30,2		32,5	358
betoni (40mm)	96	betoni	127	0,0	326	4,2	3,8		13,2	78
bitumi	1,0	kumibitumi (bitumi)	2,6	0,0	6,6	0,0	0,0		0,0	0,0
teräs	3,0	uusioteräs (sähköteräs)	4,4	0,0	176	1,6	2,4		1,3	14
TB-pilari 580X480 jm	701		937	0	4236	47	54	0	106	701
betoni	668	betoni	888	0,0	2271	29,4	26,7		91,5	541
raudoitus	33,4	uusioteräs (sähköteräs)	49,1	0,0	1964	17,3	26,7		14,6	160

JB-palkki 480X680 jm	822		1099	0,0	4966	55	63	0	124	822
betoni	783	betoni	1041	0,0	2663	34,5	31,3		107	634
raudoitus	39,2	uusioteräs (sähköteräs)	57,6	0,0	2303	20,3	31,3		17,1	188
mineraalivillaa 15cm m²	5		18	0	178	8	0	0	6	80
villa	4,5	mineraalivilla	18,0	0,0	178	7,6	0,0		6,3	80
TT-laatta (TT3000-120 295kg/2 n. 7kN kantavuus) m²	296		394	0	1370	16	17	0	43	265
betoni	289	betoni	384	0,0	982	12,7	11,6		39,6	234
teräs 730g/ 9kpl (6,6kg/m2)	6,6	uusioteräs (sähköteräs)	9,7	0,0	388	3,4	5,3		2,9	31
Välipohja (ontelolaatta 265mm) m²	374		499	0	1639	20	20	0	53	329
betoni (353kg/m2)	353	betoni	469	0,0	1200	15,5	14,1		48,4	285
teräs 730g/ 9kpl (6,6kg/m2)	6,6	uusioteräs (sähköteräs)	9,7	0,0	388	3,4	5,3		2,9	31
saumavalu (15kg/m2)	15,0	betoni	20,0	0,0	51,0	0,7	0,6		2,1	12
Kantava väliseinä (teräsbetoni 180mm) m²	438		583	0	1821	22	22	0	61	378
betoni (paino: Saari98)	432	betoni	574	0,0	1468	19,0	17,3		59,2	349
teräs (6kg/m2)	6,0	uusioteräs (sähköteräs)	8,8	0,0	352	3,1	4,8		2,6	28
F24-VS03 Kantava huoneistojenvälinen (puu)väliseinä m²	52		93	47	735	14	40	0	22	353
rakennuslevy 13 mm kipsilevy	9,1	kipsilevy	15,7	0,1	100	0,6	2,7		3,3	58
rakennuslevy 13 mm kipsilevy	9,1	kipsilevy	15,7	0,1	100	0,6	2,7		3,3	58
lämmöneriste 100 mm mineraalivilla	3,0	mineraalivilla	12,0	0,0	119	5,1	0,0		4,2	53
kantava runko 48x97 mm k400 puu	5,0	kuusi	3,4	23,6	47,0	0,8	14,5		0,3	7,0
ilmaväli 50 mm	0,0	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
kantava runko 48x97 mm k400 puu	5,0	kuusi	3,4	23,6	47,0	0,8	14,5		0,3	7,0
lämmöneriste 100 mm mineraalivilla	3,0	mineraalivilla	12,0	0,0	119	5,1	0,0		4,2	53
rakennuslevy 13 mm kipsilevy	9,1	kipsilevy	15,7	0,1	100	0,6	2,7		3,3	58
rakennuslevy 13 mm kipsilevy	9,1	kipsilevy	15,7	0,1	100	0,6	2,7		3,3	58
F24-VS02 Kantava kevytsoraharkkora-kenteinen väliseinä, (RT VS 405) m²	139		229	0	1670	7	29	0	34	354
kevytsoraharkko, 150mm kevytsora	98	kevytsora-harkko	157	0,0	1395	3,3	26,3		28,3	312,0
raudoite, 8mm saumoihin teräs	2,0	uusioteräs (sähköteräs)	2,9	0,0	115	1,0	1,6		0,9	9,4
muurauslaasti, M 100/500 muurauslaasti	40,0	sementtilaasti (betoni)	68,8	0,0	159	3,2	0,9		4,6	32
F31-US05 Tiilirunkoinen ulkoseinä, tiili-kuori, (RT US 401) (k-arvo 0,21) m²	417		858	0	2870	36	267	129	96	1345
150mm tiili	122	tiili	258	0,0	698	5,8	61,3		28,2	416

muurauslaasti M 100/600 muurauslaasti	35,0	sementtilaasti (betoni)	60,2	0,0	139	2,8	0,8		4,0	28
muuraussiteet, 4mm, 4kpl/m2 ruostumaton teräs	1,0	uusioteräs (sähköteräs)	1,5	0,0	58,8	0,5	0,8		0,4	4,8
tuuletusväli/työvara 30mm	0,0	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
tuulensuoja	15,0	tuulensuojalu-jalevy (kova kuitulevy)	29,4	0,0	493	7,2	102		6,0	93
lämmöneristys100/200mm mineraalivilla	4,5	mineraalivilla	18,0	0,0	178	7,6	0,0		6,3	80
muurauslaasti M 100/600 muurauslaasti	35,0	sementtilaasti (betoni)	60,2	0,0	139	2,8	0,8		4,0	28
150mm tiili	204	tiili	430	0,0	1162	9,6	102		46,9	693
F31-US05 Kevytsoarakoinen ulkoseinä, tiilikuori, (RT US 402) (k-arvo 0,21) m²	304		573	0	2808	27	92	129	75	912
puhtaaksi muurattu, 85mm kalkkikiiekkatiili	123	tiili	258	0,0	698	5,8	61,3		28,2	416
muurauslaasti M 100/600 muurauslaasti	35,0	sementtilaasti (betoni)	60,2	0,0	139	2,8	0,8		4,0	28
muuraussiteet, 4mm, 4kpl/m2 ruostumaton teräs	1,0	uusioteräs (sähköteräs)	1,5	0,0	58,8	0,5	0,8		0,4	4,8
tuuletusväli/työvara 30mm	0,0	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
lämmöneristys 30mm mineraalivilla	0,1	mineraalivilla	0,4	0,0	3,6	0,2	0,0		0,1	1,6
lämmöneristys100/200mm mineraalivilla	6,0	mineraalivilla	24,0	0,0	238	10,1	0,0		8,5	106
raudoite, 8mm saumoihin teräs	2,0	uusioteräs (sähköteräs)	2,9	0,0	115	1,0	1,6		0,9	9,4
muurattu 150mm kevytsora	97,5	kevytsora-harkko	157	0,0	1395	3,3	26,3		28,3	312
harkkolaasti M 100/500 harkkolaasti	40,0	sementtilaasti (betoni)	68,8	0,0	159	3,2	0,9		4,6	32
F31-US07 Kevytsovalämpöharkkoroinen ulkoseinä, (RT US 405) (k-arvo 0,25) m²	188		335	0	6261	30	35	150	64	898
ohutrappaus rappauslaasti	5,0	sementtilaasti (betoni)	8,6	0,0	19,9	0,4	0,1		0,6	4,1
muurattu LTH-300 kevytsora	117	kevytsora-harkko	189	0,0	1674	4,0	31,6		33,9	374
raudoite, 8mm saumoihin teräs	2,0	uusioteräs (sähköteräs)	2,9	0,0	115	1,0	1,6		0,9	9,4
solupolyuretaani	4,2	solupolyuretaani SPU	32,2	0,0	4212	19,7	0,0		21,4	462
muurauslaasti M 100/500 harkkolaasti	60,0	sementtilaasti (betoni)	103	0,0	239	4,8	1,4		6,9	49
Betonisandwich kantava ulkoseinä (k-arvo = 0,24) m²	376		565	3	2163	37	42	147	71	635
SAKA-elementtitiili (47kg/m2)	46,9	tiili	98,9	0,0	267	2,2	23,4		10,8	159
saumaussmassa (uretaani, 0,05kg/m2)	0,1	solupolyuretaani SPU	0,4	0,0	50,2	0,2	0,0		0,3	5,5
saumaussnauha (solumuovi 0,01kg/m2)	0,0	solupolyuretaani SPU	0,1	0,0	10,0	0,0	0,0		0,1	1,1
betonikuori 85mm (betoni 116,28kg/m2)	116	betoni	154	0,0	395	5,1	4,7		15,9	94
raudoitus (teräs 3kg/m2)	3,0	uusioteräs (sähköteräs)	4,4	0,0	176	1,6	2,4		1,3	14
vuorivilla 140mm (10,5kg/m2)	10,5	mineraalivilla	42,0	0,0	416	17,7	0,0		14,8	186

kantava betonilevy 160mm	384	betoni	510	0,0	1305	16,9	15,4		52,6	311
raudoitus (teräs 3kg/m2)	6,0	uusioteräs (sähköteräs)	8,8	0,0	352	3,1	4,8		2,6	28
saumavalu (betonivalu 3,8kg/m2)	3,8	betoni	5,1	0,0	12,9	0,2	0,2		0,5	3,1
saumavalumuotti (puu)	0,6	kuusi	0,4	2,6	5,3	0,1	1,6		0,0	0,8
Betonisandwich ulkoseinä (k-arvo = 0,24) m²	376		565	3	2163	37	42	147	71	635
SAKA-elementti (47kg/m2)	46,9	tiili	98,9	0,0	267	2,2	23,4		10,8	159
saumaussmassa (uretaani, 0,05kg/m2)	0,1	solupolyuretaani SPU	0,4	0,0	50,2	0,2	0,0		0,3	5,5
saumaussnauha (solumuovi 0,01kg/m2)	0,0	solupolyuretaani SPU	0,1	0,0	10,0	0,0	0,0		0,1	1,1
betonikuori 85mm (betoni 116,28kg/m2)	116	betoni	154	0,0	395	5,1	4,7		15,9	94
raudoitus (teräs 3kg/m2)	3,0	uusioteräs (sähköteräs)	4,4	0,0	176	1,6	2,4		1,3	14
vuorivilla 140mm (10,5kg/m2)	10,5	mineraalivilla	42,0	0,0	416	17,7	0,0		14,8	186
kantava betonilevy 80mm (betoni 192kg/m2)	192	betoni	255	0,0	652	8,4	7,7		26,3	155
raudoitus (teräs 3kg/m2)	3,0	uusioteräs (sähköteräs)	4,4	0,0	176	1,6	2,4		1,3	14
saumavalu (betonivalu 3,8kg/m2)	3,8	betoni	5,1	0,0	12,9	0,2	0,2		0,5	3,1
saumavalumuotti (puu)	0,6	kuusi	0,4	2,6	5,3	0,1	1,6		0,0	0,8
Navetan betonielementtiseinä 80-140-80 m²	398		562	0	6586	43	20	0	80	881
betonikuori 80mm	192	betoni	255	0,0	652	8,4	7,7		26,3	155
raudoitus 3kg/m2	3,0	uusioteräs (sähköteräs)	4,4	0,0	176	1,6	2,4		1,3	14
SPU-eriste 140mm	4,9	solupolyuretaani SPU	37,6	0,0	4915	22,9	0,0		25,0	539
betonikuori 80mm	192	betoni	255	0,0	652	8,4	7,7		26,3	155
raudoitus 3kg/m2	3,0	uusioteräs (sähköteräs)	4,4	0,0	176	1,6	2,4		1,3	14
saumavalu	3,8	betoni	5,1	0,0	12,9	0,2	0,2		0,5	3,1
valumuotti	0,6	kuusi	0,4	2,6	5,3	0,1	1,6		0,0	0,8
kattopelti ja ruodelaudat m²	9		49	18	445	5	22	0	6	97
profiilipelti 0,5mm muov.pin.teräs	5,0	neitseellinen teräs (happiteräs)	46,7	0,0	409	3,9	11,0		5,8	92
ruodelaudat 22x100 puu 4/m2	3,8	kuusi	2,6	17,9	35,6	0,6	11,0		0,2	5,3
lautaseinä yksinkertainen ilmaraoilla m²	17		11	79	156	3	48	0	1	23
ulkoverhouslauta 22mm puu	9,5	kuusi	6,4	44,7	88,9	1,5	27,4		0,6	13
runko k600 50x200mm	7,2	kuusi	4,9	33,8	67,4	1,1	20,8		0,5	10
F31-US13 Puurunkoinen kerrostalon ulkoseinä, lautaverhous (k-arvo 0,21) m²	53		112	86	1020	31	53	129	24	315
maalauksen ulkomaali		tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
ulkoverhouslauta 22mm puu	9,5	kuusi	6,4	44,7	88,9	1,5	27,4		0,6	13

palonkatkoteräs 10x400mm k3000 valssattu teräs	0,2	neitseellinen teräs (happiteräs)	1,9	0,0	16,4	0,2	0,4		0,2	3,7
koolaus 22x100mm k600 puu	1,6	kuusi	1,1	7,4	14,8	0,2	4,6		0,1	2,2
kipsilevy 9mm kipsilevy	6,3	kipsi	11,5	0,0	64,9	0,4	0,0		0,0	0,0
lämmöneristys 200mm mineraalivilla	16,0	mineraalivilla	64,0	0,0	635	27,0	0,0		22,6	284
runko k600 50x 200mm puu	7,2	kuusi	4,9	33,8	67,4	1,1	20,8		0,5	10,0
rakennuslevy 9mm kipsilevy	6,3	kipsi	11,5	0,0	64,9	0,4	0,0		0,0	0,0
höyrysulku PE	0,0	polyeteeni PE	0,1	0,0	3,2	0,0	0,0		0,0	1,7
rakennuslevy 9 mm kipsilevy	6,3	kipsi	11,5	0,0	64,9	0,4	0,0		0,0	0,0
kakkosnelosvälipohja minvillalla m²	14		26	17	271	11	10	0	9	111,8
koolaus 50X100 k600	3,6	kuusi	2,4	16,9	33,7	0,6	10,4		0,2	5,0
mineraalivilla 50mm	6,0	mineraalivilla	24,0	0,0	238	10,1	0,0		8,5	106,8
vaneri	4,1	vaneri (kuusi)	8,1	37,0	95,6	2,2	8,1		2,3	40,5
höyrysulku PE	0,0	polyeteeni PE	0,1	0,0	3,2	0,0	0,0		0,0	1,7
F31-US13 Puurunkoinen kerrostalon ulkoseinä, lautaverhous (k-arvo 0,28) m²	50		97	78	946	25	49	172	19	247
maalaukset ulkomaali		tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
ulkoverhouslauta 22mm puu	9,5	kuusi	6,4	44,7	88,9	1,5	27,4		0,6	13
palonkatkoteräs 10x400mm k3000 valssattu teräs	2,0	uusioteräs (sähköteräs)	2,9	0,0	117	1,0	1,6		0,9	9,6
koolaus 22x100mm k600 puu	1,6	kuusi	1,1	7,4	14,8	0,2	4,6		0,1	2,2
kipsilevy 9mm kipsilevy	6,3	kipsi	11,5	0,0	64,9	0,4	0,0		0,0	0,0
lämmöneristys 150mm mineraalivilla	12,0	mineraalivilla	48,0	0,0	476	20,3	0,0		16,9	213
runko k600 50x 150mm puu	5,4	kuusi	3,7	25,4	50,5	0,8	15,6		0,3	7,5
rakennuslevy 9mm kipsilevy	6,3	kipsi	11,5	0,0	64,9	0,4	0,0		0,0	0,0
höyrysulku PE	0,0	polyeteeni PE	0,1	0,0	3,2	0,0	0,0		0,0	1,7
rakennuslevy 9 mm kipsilevy	6,3	kipsi	11,5	0,0	64,9	0,4	0,0		0,0	0,0
F31-US14 Puurunkoinen ulkoseinä, lautaverhous, selluvilla (k-arvo 0,19) m²	56		83	82	910	12	146	118	8	129
maalaukset ulkomaali		tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
ulkoverhouslauta puu	9,5	kuusi	6,4	44,7	88,9	1,5	27,4		0,6	13
koolaus 22*100 k600 puu	1,6	kuusi	1,1	7,4	14,8	0,2	4,6		0,1	2,2
tuulensuoja 50mm puukuitulevy	14,0	tuulensuojalevy (kova kuitulevy)	27,4	0,0	460	6,7	95,2		5,6	86
rakennuslevy 13mm kipsi	9,1	kipsi	16,7	0,0	93,7	0,6	0,0		0,0	0,0
lämmöneristys 175mm selluvilla	6,1	selluvilla (81kierpap19b orihappo)	10,0	0,2	92,3	1,5	1,5		1,1	18
kantavarunko 50*175 k600 puu	6,3	kuusi	4,3	29,6	58,9	1,0	18,2		0,4	8,8
ilmasulkupahvi	0,5	kierrätetty sanomalehtipaperi	0,1	0,0	7,4	0,0	0,0		0,0	0,0
rakennuslevy 13mm kipsi	9,1	kipsi	16,7	0,0	93,7	0,6	0,0		0,0	0,0

F31-US12 Puurunkoinen ulkoseinä, lauterhaus, (RT US 602) (k-arvo 0,22) m²	53		117	82	1067	34	50	129	27	346
maalauksen ulkomaali		tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
ulkoverhouslauta puu	9,5	kuusi	6,4	44,7	88,9	1,5	27,4		0,6	13
koolaus 22*100 k600 puu	1,6	kuusi	1,1	7,4	14,8	0,2	4,6		0,1	2,2
tuulensuoja 50mm mineraalivilla	4,0	mineraalivilla	16,0	0,0	158	6,8	0,0		5,6	71
rakennuslevy 13mm kipsi	9,1	kipsi	16,7	0,0	93,7	0,6	0,0		0,0	0,0
lämmöneristys 175mm mineraalivilla	14,0	mineraalivilla	56,0	0,0	555	23,7	0,0		19,7	249
kantavarunko 50*175 k600 puu	6,3	kuusi	4,3	29,6	58,9	1,0	18,2		0,4	8,8
höyrynsulku 0,2 mm muovi	0,0	polyeteeni PE	0,1	0,0	3,2	0,0	0,0		0,0	1,7
rakennuslevy 13mm kipsi	9,1	kipsi	16,7	0,0	93,7	0,6	0,0		0,0	0,0
F31-US11 Puurunkoinen ulkoseinä, tiili-kuori (k-arvo 0,25) m²	283		592	34	2221	44	139	140	75	1007
puhtaaksi muurattu NKH kalkkielehkeätiili	189	tiili	398	0,0	1077	8,9	94,5		43,5	642
muurauslaasti M 100/600 sementtilaasti	58,8	sementtilaasti (betoni)	101	0,0	234	4,7	1,4		6,8	48
muuraussiteet, 4mm, 4kpl/m2 ruostumaton teräs		neitseellinen teräs (happiteräs)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
tuuletusväli/työvara 30mm		tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
tuulensuoja 12mm kuitulevy	3,4	tuulensuojalulevy (kova kuitulevy)	6,6	0,0	110	1,6	22,8		1,3	20
lämmöneristys 50mm mineraalivilla	4,0	mineraalivilla	16,0	0,0	158	6,8	0,0		5,6	71
koolaus 50*50mm k600 puu	1,8	kuusi	1,2	8,5	16,8	0,3	5,2		0,1	2,5
lämmöneriste 150mm mineraalivilla	12,0	mineraalivilla	48,0	0,0	476	20,3	0,0		16,9	213
kantava runko 50*150 k600 puu	5,4	kuusi	3,7	25,4	50,5	0,8	15,6		0,3	7,5
höyrynsulku 0,2 mm PE	0,0	polyeteeni PE	0,1	0,0	3,2	0,0	0,0		0,0	1,7
rakennuslevy 13mm kipsilevy	9,1	kipsi	16,7	0,0	93,7	0,6	0,0		0,0	0,0
Muut ulkoseinät m²	170		263	3	908	9	32	140	29	278
SAKA-elementti (47kg/m2)	46,9	tiili	98,9	0,0	267	2,2	23,4		10,8	159
saumaussmassa (uretaani, 0,05kg/m2)	0,1	solupolyuretaani SPU	0,4	0,0	50,2	0,2	0,0		0,3	5,5
saumaussnauha (solumuovi 0,01kg/m2)	0,0	solupolystyreeni (polystyreeni)	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0		0,0	1,1
betonikuori 85mm (betoni 116,28kg/m2)	116	betoni	154	0,0	395	5,1	4,7		15,9	94
raudoitus (teräs 3kg/m2)	3,0	uusiteräs (sähköteräs)	4,4	0,0	176	1,6	2,4		1,3	14
saumavalu (betonivalu 3,8kg/m2)	3,8	betoni	5,1	0,0	12,9	0,2	0,2		0,5	3,1
saumavalumuotti (puu)	0,6	kuusi	0,4	2,6	5,3	0,1	1,6		0,0	0,8
Betonisandwich ulkoseinä (k-arvo = 0,13) m²	386		630	0,0	2635	56	45	80	88	862
SAKA-elementti (47kg/m2)	46,9	tiili	98,9	0,0	267	2,2	23,4		10,8	159
saumaussmassa (uretaani, 0,05kg/m2)	0,1	solupolyuretaani SPU	0,4	0,0	50,2	0,2	0,0		0,3	5,5
saumaussnauha (solumuovi 0,01kg/m2)	0,0	solupolysty-	0,0	0,0	1,4	0,0	0,0		0,0	1,1

		reeni (polystyreeni)								
betonikuori 85mm (betoni 116,28kg/m2)	116	betoni	154	0,0	395	5,1	4,7		15,9	94
raudoitus (teräs 3kg/m2)	3,0	uusioteräs (sähköteräs)	4,4	0,0	176	1,6	2,4		1,3	14
vuorivilla 280mm (21kg/m2)	21,0	mineraalivilla	84,0	0,0	833	35,5	0,0		29,6	373
kantava betonilevy 80mm (betoni 192kg/m2)	192	betoni	255	0,0	652	8,4	7,7		26,3	155
raudoitus (teräs 3kg/m2)	3,0	neitseellinen teräs (happiteräs)	28,0	0,0	245	2,3	6,6		3,5	55
saumavalu (betonivalu 3,8kg/m2)	3,8	betoni	5,1	0,0	12,9	0,2	0,2		0,5	3,1
Betonisandwich ulkoseinä (k-arvo = 0,4) m²	370		567	0	2019	29	45	0	66	582
SAKA-elementtitiili (47kg/m2)	46,9	tiili	98,9	0,0	267	2,2	23,4		10,8	159
saumausmassa (uretaani, 0,05kg/m2)	0,1	solupolyuretaani SPU	0,4	0,0	50,2	0,2	0,0		0,3	5,5
saumausnauha (solumuovi 0,01kg/m2)	0,0	solupolyuretaani SPU	0,1	0,0	10,0	0,0	0,0		0,1	1,1
betonikuori 85mm (betoni 116,28kg/m2)	116	betoni	154	0,0	395	5,1	4,7		15,9	94
raudoitus (teräs 3kg/m2)	3,0	uusioteräs (sähköteräs)	4,4	0,0	176	1,6	2,4		1,3	14
vuorivilla 70mm (5,25kg/m2)	5,3	mineraalivilla	21,0	0,0	208	8,9	0,0		7,4	93
kantava betonilevy 80mm (betoni 192kg/m2)	192	betoni	255	0,0	652	8,4	7,7		26,3	155
raudoitus (teräs 3kg/m2)	3,0	neitseellinen teräs (happiteräs)	28,0	0,0	245	2,3	6,6		3,5	55
saumavalu (betonivalu 3,8kg/m2)	3,8	betoni	5,1	0,0	12,9	0,2	0,2		0,5	3,1
F41-YP06 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (RT YP 601) (k-arvo 0,15) m²	54,0		140	58	1619	50	43	90	40	531
pinnoite ulkomaali	0,0	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
profiilipelti 0,5mm muov.pin.teräs	5,0	uusioteräs (sähköteräs)	7,4	0,0	294	2,6	4,0		2,2	24
ruodelaudat 22x100 puu	4,7	kuusi	3,2	22,3	44,5	0,7	13,7		0,3	6,6
korokerimat 10x50 puu	1,3	kuusi	0,9	6,1	12,1	0,2	3,7		0,1	1,8
aluskate 24kg/30m2 pahvi	0,8	kartonki	0,2	0,2	19,9	0,1	2,6		0,0	0,2
kantava ristikko puu	4,5	kuusi	3,1	21,2	42,3	0,7	13,1		0,3	6,3
naulauslevy sink.teräs ohutlevy	0,2	neitseellinen teräs (happiteräs)	1,9	0,0	16,4	0,2	0,4		0,2	3,7
tuulensuoja 50mm mineraalivilla	2,4	mineraalivilla	9,6	0,0	95,3	4,1	0,0		3,4	42
lämmöneriste 300mm mineraalivilla	24,0	mineraalivilla	96,0	0,0	952	40,6	0,0		33,8	427
höyrysulku 0,2mm muovi	0,2	polyeteeni PE	0,6	0,0	31,8	0,3	0,3		0,3	16
koolaus 50*50mm k600 puu	1,8	kuusi	1,2	8,5	16,8	0,3	5,2		0,1	2,5
rakennuslevy 13mm kipsilevy	9,1	kipsi	16,7	0,0	93,7	0,6	0,0		0,0	0,0
F41-YP07 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, selluvilla (RT YP 601) m²	54		84	59	1001	15	49	75	11	160
pinnoite ulkomaali	0,0	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0

profiilipelti 0,5mm muov.pin.teräs	5,0	uusioteräs (sähköteräs)	7,4	0,0	294	2,6	4,0		2,2	24
ruodelaudat 22x100 puu	4,7	kuusi	3,2	22,3	44,5	0,7	13,7		0,3	6,6
korokerimat 10x50 puu	1,3	kuusi	0,9	6,1	12,1	0,2	3,7		0,1	1,8
aluskate 24kg/30m2 pahvi	0,8	kartonki	0,2	0,2	19,9	0,1	2,6		0,0	0,2
kantava ristikko puu	4,5	kuusi	3,1	21,2	42,3	0,7	13,1		0,3	6,3
naulauslevy sink.teräs ohutlevy	0,2	neitseellinen teräs (happite- räs)	1,9	0,0	16,4	0,2	0,4		0,2	3,7
tuulensuoja 30mm 1,2m leveä mineraalivilla	2,4	mineraalivilla	9,6	0,0	95,3	4,1	0,0		3,4	42
lämmöneriste 30 kg/m3, 300mm selluvilla	24,0	selluvilla (81kierpap19b orihappy)	39,4	0,8	361	5,9	6,0		4,3	72
pahvi pahvi	0,2	kartonki	0,1	0,0	4,7	0,0	0,6		0,0	0,1
koolaus 50x50 k600 puu	1,8	kuusi	1,2	8,5	16,8	0,3	5,2		0,1	2,5
rakennuslevy 13mm kipsilevy	9,1	kipsi	16,7	0,0	93,7	0,6	0,0		0,0	0,0
Yläpohja ja ullakkorakenteet (k-arvo = 0,17) m²	272		382	21,2	1448	28	26	101	48	388
Kantava ristikko (puu)	4,5	kuusi	3,1	21,2	42,3	0,7	13,1		0,3	6,3
tuulensuoja 30mm (mineraalivilla)	0,5	mineraalivilla	2,0	0,0	20,2	0,9	0,0		0,7	9,1
lämmöneriste 250mm (mineraalivilla)	7,5	mineraalivilla	30,0	0,0	297	12,7	0,0		10,6	133
höyrysulku (muovi)	0,2	polyeteeni PE	0,6	0,0	31,8	0,3	0,3		0,3	16
ontelolaatta 200mm (betoni)	242	betoni	321	0,0	822	10,6	9,7		33,2	196
radoitus 440g/m, 7kpl (teräs)	3,1	uusioteräs (sähköteräs)	4,6	0,0	182	1,6	2,5		1,4	14
saumavalu (betoni)	15,0	betoni	20,0	0,0	51,0	0,7	0,6		2,1	12
Paikalla valettu välipohja 190mm m²	462		615	0	1903	23	23	0	65	398
betoni (2400kg/m3=)	456	betoni	606	0,0	1550	20,1	18,2		62,5	369
raudoitus (teräs 6kg/m2)	6,0	uusioteräs (sähköteräs)	8,8	0,0	352	3,1	4,8		2,6	28
Räystäät jm	7		7	21	189	2	15	0	1	18
vesikouru (sinkitty pelti)	2,1	uusioteräs (sähköteräs)	3,0	0,0	121	1,1	1,7		0,9	9,9
ruodelaudoitus (puu)	4,5	kuusi	3,1	21,2	42,3	0,7	13,1		0,3	6,3
öljymaali	0,2	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
kiinnitysraudat (sinkitty teräs)	0,4	uusioteräs (sähköteräs)	0,6	0,0	25,9	0,2	0,4		0,2	2,1
Protankate m²	1		5	0	522	0	32	0	8	115
protan	1,4	protan	4,7	0,0	522	0,4	32,4		8,1	115
Vesikate pellistä m²	21		65	68	795	9	56	0	9	230
Öljymaali	0,2	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
konesaumattu peltikate (sinkitty pelti)	5,0	neitseellinen teräs (happite- räs)	46,7	0,0	409	3,9	11,0		5,8	92
ruodelaudoitus (puu)	13,0	kuusi	8,8	61,4	122	2,0	37,7		0,8	18

aluskate (muovi)	1,1	polyeteeni PE	3,4	0,0	191	2,1	1,8		1,6	99
hukkaöljymaali	0,0	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
hukkapeltikate	0,5	neitseellinen teräs (happiteräs)	4,7	0,0	41,0	0,4	1,1		0,6	9,3
hukkaruodelaudoitus	1,3	kuusi	0,9	6,1	12,2	0,2	3,8		0,1	1,8
hukka-aluskate	0,1	polyeteeni PE	0,3	0,0	19,1	0,2	0,2		0,2	9,9
kevytikkuna (12M*12M) m²	21		34	41	531	10	27	0	9	113
puu	8,7	kuusi	5,9	40,9	81,4	1,4	25,1		0,6	12
alumiini	0,3	uusioalumiini	0,3	0,0	65,2	0,0	0,0		0,2	0,0
lasi	11,3	lasi	27,1	0,0	347	8,0	2,0		8,0	98
maalaus (öljymaali)	0,4	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
muovi	0,1	polyvinyylidikloridi PVC	0,3	0,0	37,3	0,0	0,0		0,1	3,1
Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M) m²	31		50	61	779	14	41	1054	13	169
puu	13,0	kuusi	8,8	61,4	122	2,0	37,7		0,8	18
alumiini	0,5	uusioalumiini	0,5	0,0	97,9	0,1	0,0		0,2	0,0
lasi	17,0	lasi	40,6	0,0	521	12,1	3,1		12,1	147
maalaus (öljymaali)	0,4	tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
muovi	0,1	polyvinyylidikloridi PVC	0,3	0,0	37,3	0,0	0,0		0,1	3,1
Kevyt väliseinä m²	24		63	5	535	17	5	0	16	212
rakennuslevy 8mm (kipsilevy)	6,0	kipsi	11,0	0,0	61,8	0,4	0,0		0,0	0,0
puurunko 95*45 k600	1,0	kuusi	0,7	4,7	9,4	0,2	2,9		0,1	1,4
vuorivilla 95mm	8,8	mineraalivilla	35,2	0,0	349	14,9	0,0		12,4	156
rakennuslevy 8mm (kipsilevy)	6,0	kipsilevy	10,3	0,1	66,4	0,4	1,8		2,2	38
hukkapuu	0,1	kuusi	0,1	0,5	0,9	0,0	0,3		0,0	0,1
hukkavuorivilla	0,9	mineraalivilla	3,5	0,0	34,9	1,5	0,0		1,2	15
hukkarakennuslevy (kipsilevy)	1,2	kipsi	2,2	0,0	12,4	0,1	0,0		0,0	0,0
Lattiatasoitteet 30mm (sementti) m²	45,0	betoni	60	0	153	2	2		6	36
Alueen ojitus m²	992		1196	0	475	6	7	0	24	133
soratäyttö h=450 (murske)	788	sora	929	0,0	0,0	0,0	1,6		3,2	3,9
asfaltti h=50	65,0	asfaltti (sora95/bitumi 5)	81,3	0,0	21,5	0,0	0,0		2,3	19
reunakivet h=120 (betoni)	5,9	betoni	7,9	0,0	20,2	0,3	0,2		0,8	4,8
laatoitus h=50 (betoni)	115	betoni	153	0,0	391	5,1	4,6		15,8	93
hukka-asfaltti	6,5	asfaltti (sora95/bitumi 5)	8,1	0,0	2,1	0,0	0,0		0,2	2,0
hukkareunakivet	0,6	betoni	0,8	0,0	2,0	0,0	0,0		0,1	0,5
hukalaatat	11,5	betoni	15,3	0,0	39,1	0,5	0,5		1,6	9,3

Pihan liikennealueet yhteensä m²	992		1196	0,0	475	6	7	0	24	133
soratäyttö h=450 (murske)	788	sora	929	0,0	0,0	0,0	1,6		3,2	3,9
asfaltti h=50	65,0	asfaltti (sora95/bitumi 5)	81,3	0,0	21,5	0,0	0,0		2,3	19
reunakivet h=120 (betoni)	5,9	betoni	7,9	0,0	20,2	0,3	0,2		0,8	4,8
laatoitus h=50 (betoni)	115	betoni	153	0,0	391	5,1	4,6		15,8	93
hukka-asfaltti	6,5	asfaltti (sora95/bitumi 5)	8,1	0,0	2,1	0,0	0,0		0,2	2,0
hukkareunakivet (betoni)	0,6	betoni	0,8	0,0	2,0	0,0	0,0		0,1	0,5
hukalaatat (betoni)	11,5	betoni	15,3	0,0	39,1	0,5	0,5		1,6	9,3
Pihan viher- ja leikkialueet m²	570		725	0	308	7	1	0	1	1,8
nurmialueet h=200 (humusmaa)	220	hiekkä	312	0,0	308	6,6	0,0		0,0	0,0
sorakenttä h=200 (sora)	350	sora	413	0,0	0,0	0,0	0,7		1,4	1,8
Seinälinjan perustuskaivanto jm	8498		9018	0	94	0	6	0	12	22
maankaivu (kaivuunmaa)	5610	poistomaa (kaivuunmaa)	5610	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
salaojat (pvc)	0,2	polyvinyyli- kloridi PVC	0,8	0,0	85,8	0,1	0,0		0,3	7,0
täyttö (murske)	2888	sora	3407	0,0	0,0	0,0	5,8		11,6	14
täyttö (kaivuunmaa)	-2805	poistomaa (kaivuunmaa)	2805	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
hukkasalaojat	0,0	polyvinyyli- kloridi PVC	0,1	0,0	8,6	0,0	0,0		0,0	0,7
poistuva kaivuunmaa	2805	poistomaa (kaivuunmaa)	2805	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
Rakennuksen sisäpuolen perustus- kaivannot										
sisäpuolen anturakaivaus jm	2060		2184	0	0	0	1	0	3	3,5
sisäanturat (kaivuunmaa)	1369	poistomaa (kaivuunmaa)	1369	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
sisäanturat (murske)	691	sora	815	0,0	0,0	0,0	1,4		2,8	3,5
maanvaraisen laatan pohjustus m²	1091		1217	0	0	0	1	0	3	3,5
pintamaan poisto (kaivuunmaa)	391	poistomaa (kaivuunmaa)	391	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
maanvarainen laatta (murske)	700	sora	826	0,0	0,0	0,0	1,4		2,8	3,5
kevytsoratäyttö 100mm m²	35		61	0	653	1	10	0	10	112
kevytsora	35,0	kevytsora (reikätiili)	60,6	0,0	653	1,1	9,5		10,2	112
soratäyttö 100mm m²	175		206	0	0	0	0	0	1	0,9
sora	175	sora	206	0,0	0,0	0,0	0,4		0,7	0,9

humuksen poisto200mm m²	220		220	0	0	0	0	0	0	0,0
humusmaa	220	humus	220	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
maan poisto 100mm m²	190		190	0	0	0	0	0	0	0,0
poistomaa	190	poistomaa (kaivuunmaa)	190	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
PERUSTUKSET										
puupilarin (250mm) tukimonttu 1m sy- vyteen kpl	2665		2898	0	567	1	9	0	24	126
poistomaa	1492	poistomaa (kaivuunmaa)	1492	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
sora	1030	sora	1216	0,0	0,0	0,0	2,1		4,1	5,2
pohjan betonilettu 100mm	141	betoni	188	0,0	480	6,2	5,7		19,4	114
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	1,5	uusioteräs (sähköteräs)	2,2	0,0	86,6	0,8	1,2		0,6	7,1
Anturat 200*400 jm	232	0	297	90	1026	13	65	0	31	208
seinälinjan antura 200*400 (betoni)	192	betoni	255	0,0	652	8,4	7,7		26,3	155
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	2,0	uusioteräs (sähköteräs)	2,9	0,0	117	1,0	1,6		0,9	9,6
hukkaseinäatura (betoni)	19,2	betoni	25,5	0,0	65,3	0,8	0,8		2,6	15,6
hukkaraudoitus (teräs)	0,2	uusioteräs (sähköteräs)	0,3	0,0	11,8	0,1	0,2		0,1	1,0
saumavalumuotti (puu)	19,0	kuusi	12,9	89,7	178	3,0	55,1		1,2	26
Seinäelementtien lettuanantura 2000X2000X200 kpl	2164		2861	141	8756	109	189	0	300	1858
seinälinjan antura 300*600 (betoni)	1920	betoni	2553	0,0	6528	84,5	76,8		263	1555
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	20,0	uusioteräs (sähköteräs)	29,4	0,0	1176	10,4	16,0		8,7	96
hukkaseinäatura (betoni)	192	betoni	255	0,0	652	8,4	7,7		26,3	155
hukkaraudoitus (teräs)	2,0	uusioteräs (sähköteräs)	2,9	0,0	117	1,0	1,6		0,9	9,6
saumavalumuotti (puu)	30,0	kuusi	20,4	141,6	282	4,7	87,0		2,0	42
Pilariantura 2000X2000X500 kpl	5365		7123	142	21468	265	342	0	749	4582
seinälinjan antura 300*600 (betoni)	4800	betoni	6384	0,0	16320	211	192		657	3888
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	50,0	uusioteräs (sähköteräs)	73,5	0,0	2940	26,0	40,0		21,8	240
hukkaseinäatura (betoni)	480	betoni	638	0,0	1632	21,1	19,2		65,8	388
hukkaraudoitus (teräs)	5,0	uusioteräs (sähköteräs)	7,4	0,0	294	2,6	4,0		2,2	24
saumavalumuotti (puu)	30,0	kuusi	20,4	141,6	282	4,7	87,0		2,0	42
Anturat seinälinja 300*600 jm	499		652	90	2085	26	78	0	69	435

seinälinjan antura 300*600 (betoni)	432	betoni	574	0,0	1468	19,0	17,3		59,2	349
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	4,5	uusioteräs (sähköteräs)	6,6	0,0	264	2,3	3,6		2,0	21
hukkaseinäatura (betoni)	43,2	betoni	57,5	0,0	146	1,9	1,7		5,9	35
hukkaraudoitus (teräs)	0,5	uusioteräs (sähköteräs)	0,7	0,0	26,5	0,2	0,4		0,2	2,2
saumavalumuotti (puu)	19,0	kuusi	12,9	89,7	178	3,0	55,1		1,2	26
Anturat sisäpuoli 400*800 jm	878		1153	118	3624	46	113	0	121	761
sisäpuolen antura 400*800 (betoni)	768	betoni	1021	0,0	2611	33,8	30,7		105	622
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	8,0	uusioteräs (sähköteräs)	11,8	0,0	470	4,2	6,4		3,5	38
hukkaseinäatura (betoni)	76,8	betoni	102	0,0	261	3,4	3,1		10,5	62
hukkaraudoitus (teräs)	0,8	uusioteräs (sähköteräs)	1,2	0,0	47,0	0,4	0,6		0,3	3,8
saumavalumuotti (puu)	25,0	kuusi	17,0	118	235	3,9	72,5		1,6	35
Anturat 450*1000 jm	1219		1611	90	4945	62	112	0	169	1048
seinälinjan antura 300*600 (betoni)	1080	betoni	1436	0,0	3672	47,5	43,2		148	874
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	11,3	uusioteräs (sähköteräs)	16,5	0,0	661	5,8	9,0		4,9	54
hukkaseinäatura (betoni)	108	betoni	143	0,0	367	4,8	4,3		14,8	87
hukkaraudoitus (teräs)	1,1	uusioteräs (sähköteräs)	1,7	0,0	66,2	0,6	0,9		0,5	5,4
saumavalumuotti (puu)	19,0	kuusi	12,9	89,7	178	3,0	55,1		1,2	26
Antura kevytsoraharkkoista 600 jm	231		323	0	1388	10	22	0	40	312
kevytsora-anturaharkko	51,0	kevytsora- harkko	82,4	0,0	730	1,7	13,8		14,8	163
raudoite, 8mm saumoihin teräs	0,8	uusioteräs (sähköteräs)	1,2	0,0	46,1	0,4	0,6		0,3	3,8
anturaharkon betonitäyttö 42 litraa harkolle	180	betoni	239	0,0	612	7,9	7,2		24,7	145
Anturan kaivanto ja täyttö jm	6179		6469	0	0	0	3	0	6	8,1
poistomaa anturan kohdalta	2850	poistomaa (kaivuumaa)	2850	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
poistomaa anturan ulkopuolelta	950	poistomaa (kaivuumaa)	950	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
poistomaa anturan sisäpuolelta	769	poistomaa (kaivuumaa)	769	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
täyttösora ulkopuolelle	1610	sora	1899	0,0	0,0	0,0	3,2		6,4	8,1
poistomaa	0,0	poistomaa (kaivuumaa)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
perusmuuri 200X100X1000 jm	56		73	14	240	3	11	0	8	49
muuri 200X100	48,0	betoni	63,8	0,0	163	2,1	1,9		6,6	38
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	0,5	uusioteräs (sähköteräs)	0,7	0,0	29,4	0,3	0,4		0,2	2,4
hukkaseinäatura (betoni)	4,8	betoni	6,4	0,0	16,3	0,2	0,2		0,7	3,9
hukkaraudoitus (teräs)	0,1	uusioteräs	0,1	0,0	2,9	0,0	0,0		0,0	0,2

		(sähköteräs)								
saumavalumuotti (puu)	3,0	kuusi	2,0	14,2	28,2	0,5	8,7		0,2	4,2
Perusmuuri 350*1000 jm	848		1130	0	3370	42	41	0	118	722
perusmuuri 350	840	betoni	1117	0,0	2856	37,0	33,6		115	680
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	8,8	uusioteräs (sähköteräs)	12,9	0,0	514	4,5	7,0		3,8	42
Perusmuuri 350*1000 jm	289		473	0	3609	14	64	0	74	786
kevytsoraperustusharkko	227	kevytsora-harkko	367	0,0	3256	7,7	61,4		66,0	728,0
raudoite, 8mm saumoihin teräs	2,0	uusioteräs (sähköteräs)	2,9	0,0	115	1,0	1,6		0,9	9,4
muurauslaasti 7,2kg harkolle	59,7	sementtilaasti (betoni)	102	0,0	237	4,8	1,4		6,9	48
perusmuuri lämpöharkkoista jm	187		334	0	6215	30	34	0	63	895
ohutrappaus rappauslaasti	5,0	sementtilaasti (betoni)	8,6	0,0	19,9	0,4	0,1		0,6	4,1
muurattu LTH-300 kevytsora	117	kevytsora-harkko	189	0,0	1674	4,0	31,6		33,9	374
raudoite, 8mm saumoihin teräs	1,2	uusioteräs (sähköteräs)	1,7	0,0	69,2	0,6	0,9		0,5	5,6
solupolyuretaani	4,2	solupolyuretaani SPU	32,2	0,0	4212	19,7	0,0		21,4	462
muurauslaasti M 100/500 harkkolaasti	60,0	sementtilaasti (betoni)	103	0,0	239	4,8	1,4		6,9	49
Seinälinjan anturat, perusmuurit ja pilarit jm	1454		1894	297	5644	74	242	0	196	1238
seinälinjan antura 300*600 (betoni)	1260	betoni	1675	0,0	4284	55,4	50,4		172	1020
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	5,3	uusioteräs (sähköteräs)	7,7	0,0	308	2,7	4,2		2,3	25
hukkaseinäatura (betoni)	126	betoni	167	0,0	428	5,5	5,0		17,3	102
hukkaraudoitus (teräs)	0,5	uusioteräs (sähköteräs)	0,8	0,0	30,9	0,3	0,4		0,2	2,5
saumavalumuotti (puu)	63,0	kuusi	42,8	297	592	9,8	182		4,1	88
Sisäpuolen anturat, perusmuuri ja pilarit jm	502		651	118	1967	26	93	0	68	429
sisäpuolen antura 400*800 (betoni)	432	betoni	574	0,0	1468	19,0	17,3		59,2	349
raudoitus 25kg/m3 (teräs)	1,8	uusioteräs (sähköteräs)	2,6	0,0	105	0,9	1,4		0,8	8,6
hukkasisäantura (betoni)	43,2	betoni	57,5	0,0	146	1,9	1,7		5,9	35
hukkaraudoitus (teräs)	0,2	uusioteräs (sähköteräs)	0,3	0,0	10,6	0,1	0,1		0,1	0,9
saumavalumuotti (puu)	25,0	kuusi	17,0	118,0	235	3,9	72,5		1,6	35
VSS-rakenteet m²	2542		3394	58	17248	186	253	0	393	2680
katto h=300 (betoni)	720	betoni	957	0,0	2448	31,7	28,8		98,6	583

raudoitus 50kg/m2 (teräs)	50,0	uusioteräs (sähköteräs)	73,5	0,0	2940	26,0	40,0		21,8	240
seinät h=300 (betoni)	720	betoni	957	0,0	2448	31,7	28,8		98,6	583
raudoitus 50kg/m2 (teräs)	50,0	uusioteräs (sähköteräs)	73,5	0,0	2940	26,0	40,0		21,8	240
lattia h=150 (betoni)	360	betoni	478	0,0	1224	15,8	14,4		49,3	291
raudoitus 20kg/m2 (teräs)	20,0	uusioteräs (sähköteräs)	29,4	0,0	1176	10,4	16,0		8,7	96
varausikäytävä h=150 (betoni)	360	betoni	478	0,0	1224	15,8	14,4		49,3	291
raudoitus 20kg/m2 (teräs)	20,0	uusioteräs (sähköteräs)	29,4	0,0	1176	10,4	16,0		8,7	96
hukkabetonit yhteensä	216	betoni	287	0,0	734	9,5	8,6		29,6	175
hukkaraudoitukset yhteensä	14,0	uusioteräs (sähköteräs)	20,6	0,0	823,2	7,3	11,2		6,1	67
muottivaneri	9,0	kuusi	6,1	42,5	84,6	1,4	26,1		0,6	12
seinämuotti 22*100 (puu)	1,0	kuusi	0,7	4,7	9,3	0,2	2,9		0,1	1,4
seinämuotti 50*100 (puu)	2,3	kuusi	1,5	10,6	21,2	0,4	6,5		0,1	3,2
teräsbetonipaalu 250X250 6m kpl	1562		2086	0	8775	98	110	0	232	151 5
betoni	1500	betoni	1995	0,0	5100	66,0	60,0		205	121 5
raudoitus 5-200 (teräs)	62,5	uusioteräs (sähköteräs)	91,9	0,0	3675	32,4	50,0		27,3	300
Maanvarainen alapohja (k-arvo = 0,23) m²	215		290	0	1186	17	12	133	37	463
teräsbetonilaatta 80mm (betoni)	192	betoni	255	0,0	652	8,4	7,7		26,3	155
raudoitus 5-200 (teräs)	1,5	uusioteräs (sähköteräs)	2,3	0,0	90,6	0,8	1,2		0,7	7,4
höyrysulku (muovi)	0,2	polyeteeni PE	0,6	0,0	31,8	0,3	0,3		0,3	16
lämmöneriste 50mm (polystyreeni)	1,0	solupolystyreeni (polystyreeni)	2,5	0,0	137	2,5	0,8		2,8	110
hukkateräsbetoni (betoni)	19,2	betoni	25,5	0,0	65,3	0,8	0,8		2,6	15
hukkaraudoitus (teräs)	0,2	uusioteräs (sähköteräs)	0,2	0,0	9,1	0,1	0,1		0,1	0,7
höyrysulku (muovi)	0,0	polyeteeni PE	0,1	0,0	3,4	0,0	0,0		0,0	1,7
hukkalämmöneriste (polystyreeni)	0,1	solupolystyreeni (polystyreeni) *	0,3	0,0	13,8	0,2	0,1		0,3	11
reunälämmöneriste 1200 h=50mm (polystyreeni)	1,2	solupolystyreeni (polystyreeni)	3,0	0,0	165	3,0	0,9		3,4	132
hukkareunälämmöneriste (polystyreeni)	0,1	solupolystyreeni (polystyreeni)	0,3	0,0	16,5	0,3	0,1		0,3	13
F13-AP03 Kantava alapohja, ontelolaatta (h=265mm), (RT AP 501) k-arvo 0,19 m²	374		499	0	1639	20	20	118	53	329
betoni (353kg/m2)	353	betoni	469	0,0	1200	15,5	14,1		48,4	285
teräs 730g/ 9kpl (6,6kg/m2)	6,6	uusioteräs (sähköteräs)	9,7	0,0	388	3,4	5,3		2,9	31
saumavalu (15kg/m2)	15,0	betoni	20,0	0,0	51,0	0,7	0,6		2,1	12

eriste 200 mm polystyreeni	0,0	solupolystyreeni (polystyreeni)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
F13-AP10 Tuulettettu puurakenteinen alapohja, (RT AP 601) (k-arvo 0,16) m²	59		130	139	1424	50	87	97	40	547
lattialauta, 33x95 puu	14,2	kuusi	9,6	67,0	133	2,2	41,2		0,9	19
rakennusmuovi, 0,2mm muovi	0,2	polyeteeni PE	0,6	0,0	31,8	0,3	0,3		0,3	16
lämmöneriste, 100mm mineraalivilla	8,0	mineraalivilla	32,0	0,0	317	13,5	0,0		11,3	142
koolaus, 100x50 k600 puu	3,6	kuusi	2,4	16,9	33,7	0,6	10,4		0,2	5,0
lämmöneriste, 225mm mineraalivilla	18,0	mineraalivilla	72,0	0,0	714	30,4	0,0		25,4	320
koolaus, 225x50 k600 puu	8,1	kuusi	5,5	38,1	75,8	1,3	23,4		0,5	11
tuulensuojalevy, kosteudenkestävä 12mm puukuitulevy	3,4	selluvilla (81kierpap19b ori-happo)	5,6	0,1	51,5	0,8	0,9		0,6	10
harvalauta, 25x100 k300 puu	3,6	kuusi	2,4	16,9	33,7	0,6	10,4		0,2	5,0
tuulettettu alustila >400mm		tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
rakennusmuovi, 0,2mm muovi	0,2	polyeteeni PE	0,6	0,0	31,8	0,3	0,3		0,3	16
F13-AP11 Tuulettettu puurakenteinen alapohja, selluvilla (RT AP 601) (k-arvo 0,18) m²	36		30	147	532	9	93	108	6	186
lattialauta 33*95 puu	14,2	kuusi	9,6	67,0	133	2,2	41,2		0,9	19
höyrynsulku 0,2 mm muovi	0,2	polyeteeni PE	0,6	0,0	31,8	0,3	0,3		0,3	16
koolaus 100*50 k600 puu	3,6	kuusi	2,4	16,9	33,7	0,6	10,4		0,2	5,0
koolaus 100*50 k600 puu	3,6	kuusi	2,4	16,9	33,7	0,6	10,4		0,2	5,0
lämmöneriste 150/200mm, 45kg/m3 selluvilla	0,9	solupolystyreeni (polystyreeni)	2,3	0,0	123	2,2	0,7		2,5	99
tuulensuoja, kosteudenkestävä 12mm puukuitulevy	3,4	selluvilla (81kierpap19b ori-happo)	5,6	0,1	51,5	0,8	0,9		0,6	10
koolaus 175*50 k600 puu	6,3	kuusi	4,3	29,6	58,9	1,0	18,2		0,4	8,8
harvalauta 25*100 k300 puu	3,6	kuusi	2,4	16,9	33,7	0,6	10,4		0,2	5,0
tuulettettu alustila >400mm		tyhjyys	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0		0,0	0,0
muovikalvo 0,2mm muovi	0,2	polyeteeni PE	0,6	0,0	31,8	0,3	0,3		0,3	16

Liite 3: Talojen rakenteet

Tiilitalo

Välipohja (ontelolaatta 265mm) m2

F31-US05 Tiilirunkoinen ulkoseinä, tiilikuori, (RT US 401) (k-arvo 0,21)
F41-YP06 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (RT YP 601) (k-arvo 0,15)
Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)
Kevyt väliseinä m2
F13-AP03 Kantava alapohja, ontelolaatta (h=265mm), (RT AP 501) k-arvo 0,19
Antura kevytsoraharkkoista 600
perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)

Tiilivuorattu kevytsoraharkkotalo

Välipohja (ontelolaatta 265mm) m2
F31-US05 Kevytsorarakunkoinen ulkoseinä, tiilikuori, (RT US 402) (k-arvo 0,21)
F41-YP06 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (RT YP 601) (k-arvo 0,15)
Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)
Kevyt väliseinä m2
F13-AP03 Kantava alapohja, ontelolaatta (h=265mm), (RT AP 501) k-arvo 0,19
Antura kevytsoraharkkoista 600
perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)

Kevytsoralämpöharkkotalo

Välipohja (ontelolaatta 265mm) m2
F31-US07 Kevytsoralämpöharkkorunkoinen ulkoseinä, (RT US 405) (k-arvo 0,25)
F41-YP06 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (RT YP 601) (k-arvo 0,15)
Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)
Kevyt väliseinä m2
F13-AP03 Kantava alapohja, ontelolaatta (h=265mm), (RT AP 501) k-arvo 0,19
Antura kevytsoraharkkoista 600
perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)

Kevytsoralämpöharkkotalo puisilla väli- ja alapohjalla

F27-VP04 Puinen välipohja (h=280mm), (RT VP 601)
F31-US07 Kevytsoralämpöharkkorunkoinen ulkoseinä, (RT US 405) (k-arvo 0,25)
F41-YP06 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (RT YP 601) (k-arvo 0,15)
Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)
Kevyt väliseinä m2
F13-AP10 Tuuletettu puurakenteinen alapohja, (RT AP 601) (k-arvo 0,16)
Antura kevytsoraharkkoista 600
perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)

Puurakenteinen talo tiiliverhoilulla

F27-VP04 Puinen välipohja (h=280mm), (RT VP 601)
F31-US11 Puurunkoinen ulkoseinä, tiilikuori (k-arvo 0,25)
F41-YP06 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (RT YP 601) (k-arvo 0,15)
Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)
Kevyt väliseinä m2
F13-AP10 Tuuletettu puurakenteinen alapohja, (RT AP 601) (k-arvo 0,16)
Antura kevytsoraharkkoista 600

perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)

Puurakenteinen talo betoniontelolaatta-alapohjalla

F27-VP04 Puinen välipohja (h=280mm), (RT VP 601)

F31-US12 Puurunkoinen ulkoseinä, lautaverhous, (RT US 602) (k-arvo 0,22)

F41-YP06 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (RT YP 601) (k-arvo 0,15)

Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)

Kevyt väliseinä m2

F13-AP03 Kantava alapohja, ontelolaatta (h=265mm), (RT AP 501) k-arvo 0,19

Antura kevytsoraharkkoista 600

perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)

Puurakenteinen talo, perusratkaisu

F27-VP04 Puinen välipohja (h=280mm), (RT VP 601)

F31-US12 Puurunkoinen ulkoseinä, lautaverhous, (RT US 602) (k-arvo 0,22)

F41-YP06 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, (RT YP 601) (k-arvo 0,15)

Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)

Kevyt väliseinä m2

F13-AP10 Tuuletettu puurakenteinen alapohja, (RT AP 601) (k-arvo 0,16)

Antura kevytsoraharkkoista 600

perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)

Puurakenteinen talo, selluvillaeriste

F27-VP04 Puinen välipohja (h=280mm), (RT VP 601)

F31-US14 Puurunkoinen ulkoseinä, lautaverhous, selluvilla (k-arvo 0,19)

F41-YP07 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, selluvilla (RT YP 601)

Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)

Kevyt väliseinä m2

F13-AP11 Tuuletettu puurakenteinen alapohja, selluvilla (RT AP 601) (k-arvo 0,18)

Antura kevytsoraharkkoista 600

perusmuuri 350*korkeus (kevytsoraharkko)

Betonikerrostalot

Molemmissa betonikerrostaloissa osat ovat samat. Vain kerrosten määrä vaihtuu kolmesta viiteen.

Välipohja (ontelolaatta 265mm) m2

Kantava väliseinä (teräsbetoni 180mm) m2

Betonisandwich ulkoseinä (k-arvo = 0,24) m2

Muut ulkoseinät m2

Yläpohja ja ullakkorakenteet (k-arvo = 0,17) m2

Vesikate pellistä m2

Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)

Kevyt väliseinä m2

F13-AP03 Kantava alapohja, ontelolaatta (h=265mm), (RT AP 501) k-arvo 0,19

Anturat seinälinja 300*600

Anturat sisäpuoli 400*800

Puukerrostalot

Myös puukerrostalot ovat samanlaiset kerrosmäärää lukuun ottamatta.

F27-VP05 Puinen välipohja, kerrostalo

F24-VS03 Kantava huoneistojenvälinen (puu)väliseinä

F31-US13 Puurunkoinen kerrostalon ulkoseinä, lautaverhous (k-arvo 0,21)

F31-US13 Puurunkoinen kerrostalon ulkoseinä, lautaverhous (k-arvo 0,21)

F41-YP07 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, selluvilla (RT YP 601)

Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)

Kevyt väliseinä m2

F13-AP10 Tuuletettu puurakenteinen alapohja, (RT AP 601) (k-arvo 0,16)

Anturat seinälinja 300*600

Anturat sisäpuoli 400*800

Kevytsoraharkkokerrostalo, 5krs

Välipohja (ontelolaatta 265mm) m2

F24-VS02 Kantava kevytsoraharkkorakenteinen väliseinä, (RT VS 405)

F31-US07 Kevytsoralämpöharkkorunkoinen ulkoseinä, (RT US 405) (k-arvo 0,25)

F31-US13 Puurunkoinen kerrostalon ulkoseinä, lautaverhous (k-arvo 0,21)

F41-YP07 Kantava puuristikko yläpohja, profiilipeltikate, selluvilla (RT YP 601)

Ikkuna (k-arvo = 1,75 12M*12M)

Kevyt väliseinä m2

F13-AP10 Tuuletettu puurakenteinen alapohja, (RT AP 601) (k-arvo 0,16)

Anturat seinälinja 300*600

Anturat sisäpuoli 400*800